Finska
Läkaresällskapet.

22200089932

Med
K9876

G. J. Stomberg. 1855

LEHRBUCH

DER

PHYSIOLOGIE DES MENSCHEN

VON

C. LUDWIG,
IN ZÜRICH.

ERSTER BAND.

PHYSIOLOGIE DER ATOME, DER AGGREGATZUSTÄNDE, DER NERVEN UND MUSKELN.

HEIDELBERG.
AKADEMISCHE VERLAGSHANDLUNG VON C. F. WINTER.
1852.

14841781

WELLCOME INSTITUTE LIBRARY
Coll. welMOmec
Call No. QT

Druck von H. L. Brönner in Frankfurt a. M.

330723/53/60

DEN FREUNDEN

E. BRÜCKE, E. DU BOIS-REYMOND, H. HELMHOLTZ

IN WIEN IN BERLIN IN KÖNIGSBERG

GEWIDMET.

Einleitung.

Aufgabe. Die wissenschaftliche Physiologie hat die Aufgabe die Leistungen des Thierleibes festzustellen und sie aus den elementaren Bedingungen desselben mit Nothwendigkeit herzuleiten.

Nahebei alle Leistungen, welche von irgend einem thierischen Wesen ausgehen, so mannigfaltig sie nach ihrer specifischen Erscheinung, nach ihrer räumlichen Verbreitung, nach ihrem absoluten Werth und nach der Zeit in der sie vor sich gehen, ausfallen, sind doch darin übereinstimmend, dass zu ihrer Erzielung jedesmal eine grössere Zahl von Bedingungen zusammengreift.

Unterwirft man in der That von diesem Gesichtspunkt aus die scheinbar einfachste Lebensäusserung, z. B. die Beugung eines Fingergliedes der Untersuchung, so gewahrt man bald dass der Anstoss zur Bewegung nicht vom Finger, sondern von einem mit ihm durch die Sehne in Verbindung stehenden Muskel ausgeht; indem sich die Aufmerksamkeit auf diesen wendet, gewahrt dieselbe, dass die von ihm ausgehende Leistung resultirt aus der Wirkung vieler gleichartiger Gebilde, der sogenannten Muskelröhren; eine genaue Zergliederung zerspaltet diese wiederum in die verschiedenartigsten Bestandtheile und gelangt dadurch dahin den Muskelcylinder als Zusammenordnung von trägen mit leicht veränderlichen Bestandtheilen aufzufassen; in diesen letztern entdeckt sie darauf Theilchen von endlicher aber ausserordentlich geringer Grösse, durch deren wechselnde Anziehungen die Bewegungen im Muskel erzeugt werden; aber auch diese kleinsten Theilchen sind wieder zerlegbar in chemische Atome, electrische Flüssigkeit und Lichtäther, Wesen, welche endlich den zerlegenden Mitteln, über die die Wissenschaft heute gebietet, unbesiegbaren Widerstand leisten. Da wir aber die Bewegung nicht unmittelbar an den Muskelmolekeln, und nicht einmal an der Muskelscheide, den Sehnen, dem Periost, sondern an dem Finger beobachten, so ist mit obiger Betrachtung nur eine Seite unserer Erscheinung zergliedert, nämlich diejenige, welche die Ursache der Bewegung überhaupt enthält. Denn indem sich die Bewegung auf primäre und secundäre Scheide, Sehnen, Knochen u. s. w. überträgt, erfährt sie Widerstände, die von der Steifigkeit, Elasticität, Form u. s. w. dieser Theile abhängig sind; alle diese Erscheinungen sind aber selbst wieder Folge sehr complicirter Veranstaltungen, die ebenfalls erst sämmtlich in ihre Elemente zerlegt werden müssen, wenn die Auflösung jener Lebensäusserung vollendet sein soll.

Elementare Bedingungen. So oft nun eine Zergliederung der leistungserzeugenden Einrichtungen des thierischen Körpers geschah, so oft stiess man schliesslich auf eine begrenzte Zahl chemischer Atome, die Gegenwart des Licht (Wärme)- Aethers und diejenige der electrischen Flüssigkeiten. Dieser Erfahrung entsprechend zieht man den Schluss, dass alle vom thierischen Körper ausgehenden Erscheinungen eine Folge der einfachen Anziehungen und Abstossungen sein möchten, welche an jenen elementaren Wesen bei einem Zusammentreffen derselben beobachtet werden. Diese Folgerung wird unumstösslich, wenn es gelingt mit mathematischer Schärfe nachzuweisen, es seien die erwähnten elementaren Bedingungen nach Richtung, Zeit und Masse im thierischen Körper derartig geordnet, dass aus ihren Gegenwirkungen mit Nothwendigkeit alle Leistungen des lebenden und todten Organismus herfliessen.

Die vorliegende Auffassung ist wie allbekannt nicht die hergebrachte, sie ist diejenige unter den neuern, welche man als eine besondere gegenüber der vitalen mit dem Namen der physikalischen bezeichnet. — Diese Anschauung verlangt in Uebereinstimmung mit dem Causalgesetz, an das wir uns halten müssen, wenn wir überhaupt denken wollen, dass ein Ding die Ursachen seiner Wirkungen in sich enthalte, und in Uebereinstimmung mit den so oft berührten Grundsätzen der Erfahrungslehren, dass man nur die mittel- oder unmittelbar nachgewiesenen Existenzen mit in das Fundament der Schlüsse aufnehme. Sie verwirft darum die Berechtigung zur Annahme hypothetischer Grundwesen, wie besondere Nerven-Lebensäther u. s. w., u. s. w.; sie wird sich aber niemals sträuben einer neuen, bisher nicht bekannten Fundamentalbedingung Eingang in den Kreis der Betrachtung zu gestatten, wenn diese als eine in Wirklichkeit bestehende erwiesen ist. — Die Vertheidigung dieser Grundsätze siehe in einer ebenso gedankenreichen als edelgeformten Betrachtung bei du Bois, thierische Electricität 1. Bd. Vorrede.

Vielfachheit der Leistungen durch die gegebenen elementaren Bedingungen. Wenn sich nun auch nicht durch Erfüllung der obigen Forderung die Nothwendigkeit der physikalischen Auffassung darthun lässt, so lässt sich wenigstens zeigen dass die Mittel, welche sie als die Gründe des Lebens ansieht, vielfach und wirksam wie sie sind, weitaus genügen, um den Reichthum der Lebenserscheinungen bedingen zu können.

1) Leistungen der formlosen Elemente. — Vermöge der zwischen gleichartigen und ungleichartigen Atomen bestehenden Anziehung kommt es zur Bildung von Massen; je nach der Innigkeit mit der in diesen die Atome aneinander haften stellen sie ein Baumaterial vor, verschieden an Dichtigkeit, Festigkeit und Elastizität. — Den von den Atomen ausgehenden Anziehungen folgen aber auch der Lichtäther und die Electrizitäten; die Verschiedenheit der Massenverwandtschaft zu den letztern Fluiden stellt sich dar in dem spezifischen electromotorischen und electrischen Leitungsvermögen. Die Beziehung der Masse zum Lichtäther offenbart sich aber durch die Besonderheit der Farbe, des Brechungsvermögens, der Durchsichtigkeit, der Wärmeleitung, Erscheinungen welche theils auf eine veränderte Dichtigkeit des

Lichtäthers innerhalb des von der Masse umschlossenen Raumes, theils aber auf eine verschiedene Beweglichkeit der Atome unter dem Einfluss der Aetherschwingung hindeuten. — Die zwischen den ungleichartigen Atomen bestehende Anziehung führt zur chemischen Verbindung. Selbst zwischen einer geringen Zahl von Elementen kann die Menge der verschiedenen möglichen Verbindungen sehr gross sein, weil es zulässig ist, dass sich nicht allein das Atom des einen Elements mit dem Atom des andern verbindet, sondern dass sich auch 1 Atom mit einer Gruppe von solchen (einem complizirten Atom) und Gruppen mit Gruppen verbinden können. — Nun sind wie natürlich die Verbindungen verschiedener Atomzahlen in ihren Eigenschaften abweichend von einander, darum sind aber nicht die Verbindungen gleicher Atomzahlen gleichartig geeigenschaftet; denn auf die Entwicklung jener ist auch die Richtung, welche die Anziehungen innerhalb der complizirten Atome besitzen, von Einfluss. Erinnert man sich nun noch, dass die Menge der gebundenen Wärme und vielleicht auch der gebundenen Electrizitäten einen wesentlichen Theil an der Erzeugung der Eigenschaften nimmt, so ergibt sich dass schon Verbindungen derselben Elemente bei unveränderter Atomzahl eine Schaar ganz verschiedener Körper darzustellen vermögen, um wie viel grösser werden also die möglichen Mannigfaltigkeiten sein, die durch die Verbindung gleicher Elemente von verschiedener Atomzahl oder gar die Verbindungen verschiedener Elemente bei stets wechselnder Atomzahl erreichbar sind.

Die Mannigfaltigkeit der Erscheinungsweise chemischer Verbindungen, so unendlich sie nun auch ist, kann nach einer Richtung hin unter zwei Kategorieen zusammengefasst werden, von denen die eine alle diejenigen complizirten Atome umfasst, welche unter gegebenen Bedingungen keine Verwandtschaften zu andern Verbindungen oder Elementen besitzen, während in der zweiten die mit Verwandtschaft begabten enthalten sind. — Die Bedeutung dieser Eintheilung wird durch folgendes einleuchtend. Betrachtet man ganz allgemein die chemische Verwandtschaft mit Rücksicht auf die sie erzeugende chemische Zusammensetzung der Stoffe, so ist leicht zu erkennen, dass weder die Zahl, noch die Art der Atome oder die Menge der in die Verbindung tretenden latenten Wärme u. s. w. die Verwandtschaft bestimmt; denn die auf die verschiedenste Art zusammengesetzten Verbindungen besitzen gegen gleiche Stoffe unter gleichen Bedingungen dieselben Verwandtschaften und umgekehrt. — Diese Thatsachen, obwohl sie in ihrem innersten Zusammenhang noch nicht begriffen sind, zwingen wenigstens zu der Annahme, dass die Verwandtschaft keine absolute Eigenschaft der Atome, sondern eine abgeleitete Funktion sei. Indem wir uns nun eines mathematischen Bildes bedienen um uns den Vorgang zu verdeutlichen wie durch die in einer Verbindung aufeinander wirkenden Einzelanziehungen die Verwandtschaft

zu Stande komme, behaupten wir, es sei die Verwandtschaft resultirend aus den mit gewissen Richtungen und Stärken zur Gegenwirkung kommenden Componenten. Dieser Ausdruck passt namentlich insofern mit voller Uebereinstimmung auf die aus der Atomverknüpfung hervorgegangene Verwandtschaft, als hier wie dort aus den mannigfachsten Einzelkräften dieselben, und umgekehrt aus denselben Einzelkräften die verschiedensten Gesammtwirkungen, erwachsen, je nach der Ordnung in der die ersteren zusammentreten. Diesem Bilde gemäss würden die indifferenten Stoffe solche sein, deren als Verwandtschaft aufzufassende Resultirende Null wäre, während die Resultirende der mit Verwandtschaft begabten einen endlichen Werth besässe.

Wir wenden nun unsere Aufmerksamkeit auf die letzten Stoffe; hier begegnen wir sogleich der Erfahrung dass, so mannigfache Modificationen die Verwandtschaft auch erfährt, dennoch gewisse, allgemeine Aeusserungen derselben wiederkehren, die wir unter den Namen der Säuren und Basen u. s. w. u. s. w. zusammenfassen. Nach den so eben aufgestellten Begriffen der Verwandtschaft kann es nicht auffallen, dass durch Combination derselben Elemente sowohl Säuren als Basen u. s. w. erzeugbar sind, aber überraschend wirkt es, in welchem ausgedehnten Maasstab es namentlich dem C, H, und O theils für sich, theils in Verbindung mit Stickstoff und einigen der negativen Metalle (Arsenik, Antimon, Wismuth u. s. w.) gelingt, ganze Reihen von Verbindungen, die einer der erwähnten Gruppen angehörig sind, zu bilden, so dass die aus ihnen hervorgehenden Combinationen eine reiche chemische Welt für sich bilden. — Die Wissenschaft kann noch keine Rechenschaft darüber geben, durch welche Besonderheit gerade jene Elemente diese Befähigung erhielten, und ebensowenig wie die gegenseitigen Anziehungen der Atome gestaltet sein müssen, dass ihre Verbindung der einen oder andern verwandtschaftlichen Gruppe angehöre. Empirisch scheint nur fest zu stehen, dass complexe Atome die Rolle der Elemente anzunehmen im Stande sind, so dass es immer möglich wird in einer Verbindung die Elemente durch diese Complexe zu ersetzen, und demnach durch immer höhere und höhere Complikation der elementevertretenden Stoffe verwandtschaftlich gleichwerthige Körper zu erzeugen. So übernimmt, wie zuerst Löwig in einer meisterhaften Untersuchung erwiesen hat, das Methyl und Aethyl die Rolle des H,und bildet dann zu 2, 3, 4 Atom wie der H mit Antimon, Wismuth u. s. w. Verbindungen, die analog den gleichen Verbindungen des H mit N zu Ammonium, zu Basen werden, und sich in ihren Verwandtschaftserscheinungen von Ammonium und Kali durchaus nicht mehr unterscheiden lassen; dasselbe findet sich in den von Hoffmann in so ausgezeichneter Weise verfolgten Wurz'schen Stoffen, welche die dem NH, NH_2, NH_3, NH_4 entsprechenden Aethyl, und Methyl u. s. w. Verbindungen darstellen. Gleichgiltig wie die Verwandtschaften möglich und erreicht sind, ihre

Folgen für die im thierischen Körper erscheinenden Prozesse sind von fundamentaler Wichtigkeit, um sie übersehen zu können, scheiden wir sie in chemische und dynamische.

A. Chemische Folgen. Diese sind von wesentlich verschiedener Bedeutung, je nachdem die Stärke der Verwandtschaft zwischen den sich gegenübertretenden Stoffen genügt oder nicht genügt, um eine Aenderung in der atomistischen Gruppirung einzuleiten. Im letztern Falle sehen wir als einen Ausdruck der bestehenden Anziehung die Adhäsion an, die in einer besondern Gestalt zur Lösung wird; als den der bestehenden Abstossung aber die deprimirende Capillarität, die Niederschläge u. s. w. Leitet nun aber die Verwandtschaft eine Umänderung in der atomistischen Constitution ein, so werden durch die hierbei obwaltenden Anziehungen entweder die beiden Stoffe ohne vorgängige Zerlegung nach stöchiometrischen Verhältnissen verbunden; oder es vereinigen sich alle oder einzelne ihrer constituirenden Theile nach vorausgegangener Zerlegung der complizirten Verbindung; oder endlich es zerfallen die mit Verwandtschaft begabten Stoffe in andere Gruppen, ohne dass diese Neubildungen Verbindungen unter einander eingehen. — Wenn man diese vielfachen Möglichkeiten übersieht, so wird es begreiflich, dass in dem Thierleib, welcher so zahlreiche und complizirte Atome enthält, nicht allein unter den Umständen, welche überhaupt eine chemische Bewegung gestatten, eine fast ins Unendliche gehende Zahl von Umsetzungen erscheinen muss, bis zwischen allen Stoffen das chemische Gleichgewicht hergestellt ist, sondern dass auch mit ganz einfachen Veränderungen, wie z. B. in den quantitativen Verhältnissen der anwesenden Stoffe, oder je nach der zeitlichen Reihenfolge, in der die einzelnen Gegenwirkungen eintreten, die zwischen dem Beginn und dem Ende der möglichen Zersetzungen liegenden Glieder sehr mannigfaltige von einander ganz abweichende werden können.

B. Dynamische Folgen. Hierunter begreifen wir die über die Berührungsstellen von Atomen hinauswirkenden Anziehungen und Abstossungen, welche in Folge der Umsetzung und Verbindung chemischer Stoffe zum Vorschein kommen. Durch diese in grösserer Entfernung ausgeübten Wirkungen, werden die angezogenen und abgestossenen Massen in Bewegungen versetzt, Bewegungen, welche sich auf andere ursprünglich indifferente Stoffe übertragen können. Als Ursache dieser Anziehungen sehen wir im thierischen Körper erfahrungsgemäss die Wärme und die Electrizitäten an.

a. Wärme. Mit diesem Worte bezeichnet man wie es scheint sehr verschiedene Dinge. *α*) Die freie, übertragbare Wärme; diese besteht entweder als strahlende Wärme, die wir bekanntlich als eine Wellenbewegung des sogenannten Lichtäthers aufzufassen gezwungen sind, oder als geleitete Wärme, welche wahrscheinlich

in nichts anderm, als einer eigenthümlichen Bewegung der wägbaren Masse besteht, die von dem Lichtäther auf diese übergegangen ist. — β) Die gebundene Wärme; eine grössere Reihe von spezifischen Zuständen der Masse, wie namentlich der flüssige und gasförmige Aggregatzustand, die metallischen Eigenschaften, zahlreiche atomistische Verbindungen u. s. w. entstehen nur unter der Beihilfe der Wärme, und zwar in der Art, dass wenn ein Stoff aus irgend welchem andern (dem festen, dem oxydirten u. s. w.) in einen der bezeichneten (den flüssigen, den metallischen u. s. w.) Zustände übergeführt werden soll, jedesmal eine ganz bestimmte Menge von freier Wärme zum Verschwinden gebracht wird. Diese Stoffe entwickeln nun, wenn sie aus dem letzten Zustande wieder in den erstern zurückgeführt werden, abermals die Wärmemenge, welche sie beim Eintritt in denselben zum Verschwinden gebracht hatten. Da diese Stoffe demnach je nach Umständen Wärme entwickeln und vernichten, so huldigte man der Vorstellung, es mögte diese Wärme als ein besonderer Stoff im gebundenen Zustande in ihnen vorhanden sein. Seit man nun aber den scharfen Beweis dafür geführt hat, dass die freie Wärme weder im geleiteten noch im strahlenden Zustande einem besonderen Stoffe ihren Ursprung verdankt, ist jene Annahme verwerflich. Zur Erläuterung der, unter dem Namen der latenten Wärme, zusammengestellten Thatsachen bleiben demgemäss nur zwei Vorstellungen übrig; nach der einen wird die Bewegung, welche wir Wärme nennen, benutzt, um verwandtschaftliche Kräfte, welche gewisse Atome zusammenbinden zu überwinden; die durch diese Widerstände vernichtete Bewegung würde aber wieder zum Vorschein kommen, wenn jene getrennten Stoffe von Neuem ihren verwandtschaftlichen Strebungen Folge geben, so dass der Akt der Verbindung jener Atome mit besonderer Bewegung verknüpft wäre. — Nach der andern Vorstellung wird die gebundene Wärme als eine zwischen oder innerhalb der Atome befindliche Bewegung aufgefasst. Diese Bewegung würde den Stoffen durch die zum Verschwinden gebrachte Wärme mitgetheilt; aus dieser Bewegung träten die Stoffe wieder in die Ruhe ein, wenn sie ihre latente Wärme durch einen Eingang in eine neue Verbindung abgäben. Ob diese oder jene Annahme die richtige, oder gar ausschliesslich die richtige sei, ist noch nicht entschieden worden. — Gleichgiltig aber wie diese Alternative entschieden werden mag, so viel steht fest, dass die wärmeentwickelnden Umsetzungen immer nur in Folge von wärmevernichtenden stattfinden können und dass niemals bei der ersten Umsetzung mehr Wärme entwickelt wird, als bei der zweiten verloren gegangen war.

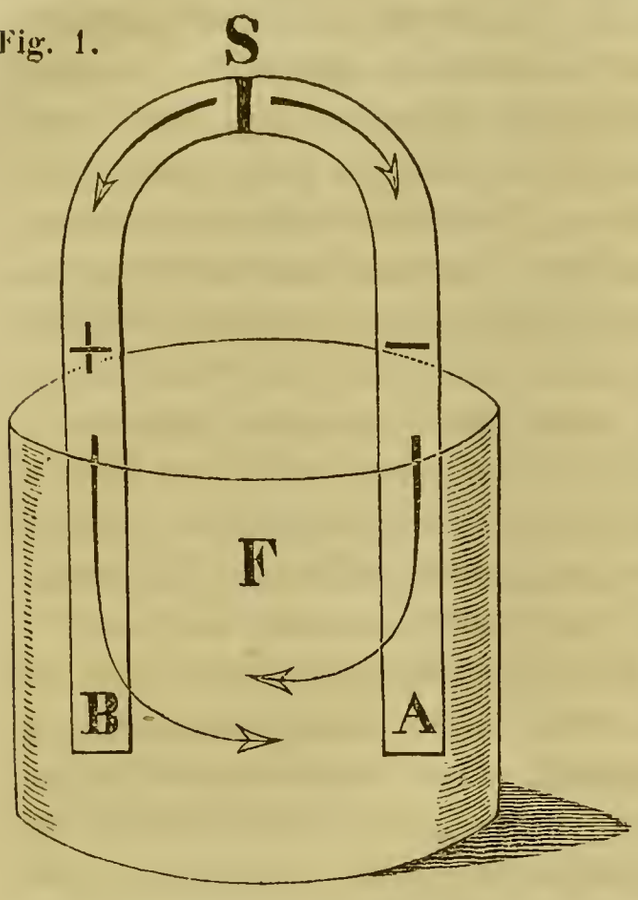
Der thierische Körper setzt sich nun vorzugsweise aus wärmetragenden Stoffen zusammen, und die Umsetzungen, welche diese Stoffe erleiden (meist Oxydationen), sind wärmeentwickelnde. — Die

Folgen dieser Wärmeentwicklung können sehr eingreifend werden. Zunächst ist die gebildete Wärme vermögend sich in sichtbare Bewegung umzusetzen und dadurch als Triebkraft von mechanischen Apparaten wirksam zu sein. Diese Umsetzung geschieht, so weit unsere Einsichten reichen, im thierischen Körper nicht, wohl aber dürfte es oft vorkommen, dass sich eine sichtbare Bewegung (Reibung u. s. w.) in Wärme verwandelt. — Weiterhin aber wird die entwickelte Wärme von Bedeutung als eine verwandtschafterzeugende Bedingung, indem unter ihrem Einfluss Sauerstoffverbindungen, Gährungen u. s. w. erscheinen, die ohne sie nicht stattfinden würden.

b. Electrizitäten. Die electrischen Erscheinungen leiten wir in Uebereinstimmung mit allen bekannten Thatsachen von dem Vorhandensein zweier besonderer gewichtlosen Flüssigkeiten ab, welche sowohl zu einander als auch zu den wägbaren Stoffen mit Verwandtschaften begabt sind. Diese Flüssigkeiten erscheinen entweder neutral, d. h. in einer so innigen gegenseitigen Durchdringung, dass nirgends eine räumliche Trennung der beiden verschiedenen Electrizitäten nachgewiesen werden kann, oder getrennt, d. h. in einer solchen Lagerung, dass die positive und negative Flüssigkeit auf räumlich geschiedenen Orten vorkommen. In diesem letzteren, in getrenntem Zustande, in dem die Electrizitäten entweder ruhig (gespannt) oder bewegt auftreten, sind sie zugleich einzig und allein vermögend, den wägbaren Stoffen Bewegung mitzutheilen. — Damit die ruhige Electrizität Bewegung einzuleiten vermögend sei, muss sie auf irgend welchem electrisch isolirten wägbaren Stoff angehäuft sein, und ihr in einer bestimmten Entfernung die gleiche oder entgegengesetzte, unter gleichen Bedingungen befindliche Electrizität genähert werden. Indem sich dann die gespannten Electrizitäten zu nähern oder zu entfernen streben, ziehen sie ihre materielle Lagerstätten mit sich. Für diese Art von bewegender Wirkung finden sich die Bedingungen im thierischen Körper so selten und auch da nur an Orten von so untergeordneter Wichtigkeit (z. B. den trocknen Haaren), dass wir unbedenklich dieselben ausser Acht lassen können. Von einem ganz andern Gewicht für den Physiologen sind dagegen die in Bewegung begriffenen getrennten electrischen Flüssigkeiten oder die sogenannten Ströme. Ihren Quellen nach sind dieselben bekanntlich Thermo-, Induktions- und Hydroelectrische Ströme. Von allen diesen sind für unsere Zwecke nur die letzteren, die galvanischen oder hydroelectrischen von Bedeutung. — Galvanische Ströme entstehen nun bekanntlich wenn eine Einrichtung gegeben ist wie sie Fig. 1 schematisch darstellt, in welcher zwei electromotorisch wirksame Stoffe *A* und *B* mit dem einen ihrer Enden bei *S* in Berührung sind, während sie mit ihren andern in eine zusammenhängende, unter dem Einfluss der Electrizität chemisch zerlegbare Flüssigkeit tauchen. Die Ursache des in einer solchen Veranstaltung kreisenden Stromes

kann verschiedentlich aufgefasst werden. Der strenge Contactelectriker erklärt sich den Hergang folgendermassen: Bei der Berührung zweier electromotorischer Stoffe wird erfahrungsgemäss ein Theil der innerhalb derselben neutral vorhandenen Electricitäten zerlegt; diese Zerlegung geht an der Berührungsstelle der Electromotoren vor sich; von diesem Ort, der sog. electromotorischen Scheidewand, strömen nun die freien Electrizitäten über die leitenden Electromotoren in der Art, dass der eine derselben mit positiver, der andere mit negativer Electrizität überzogen ist; von diesen Electromotoren dringen die Electrizitäten in die Flüssigkeit und durch diese hindurch sich durchkreuzend zu den gegenüberstehenden freien Enden der Electricitätsvertheiler (A, B), wo sie sich gegenseitig neutralisiren, um dann von Neuem an der electromotorischen Scheidungsstelle zerlegt zu werden. Die Bedeutung, welche der Contactelectriker der Flüssigkeit zuschreibt, ruht demnach darin, dass sie leitet, ohne zugleich an der Berührungsstelle mit den Electromotoren die Electrizität in derselben Ordnung zu zerlegen, in der sie bei S zerfällt wurde. Denn verhielte sich in der That die Flüssigkeit negativ gegen B und positiv gegen A,*) so würden an den flüssigen Berührungsstellen die eintretenden + und — Electrizitäten zurückgeworfen werden, verhält sich dagegen die Flüssigkeit indifferent oder positiv gegen B und negativ gegen A, so wird der Strom möglich, indem nun von der Flüssigkeitsgrenze aus A mit positiver und B mit negativer Electrizität überzogen wird. Obwohl diese Hypothese nicht allein die Möglichkeit der Entstehung einer Strömung vollkommen erläutert, sondern sich auch den Thatsachen anschliesst, so ist sie dennoch verwerflich. Denn einmal vernachlässigt sie vollkommen die Erscheinung, dass nur dann eine Strömung beobachtet wird, wenn innerhalb des flüssigen Leiters eine chemische Zersetzung statt hat, und noch mehr, sie fusst auf dem Prinzip des ewigen Umlaufs, indem sie nicht angibt, woher die ausserordentlichen bewegenden Kräfte genommen werden, welche dem Strome der Electrizitäten eigen sind, resp. die Strömung der Electrizitäten veranlassen. — Die Erwägung dass diese, dem electrischen

Fig. 1.



*) das heisst überzögen sich in Folge der Berührung B mit positiver und die Flüssigkeit mit negativer Electrizität u. s. w.

Strome eigenthümlichen bewegenden Kräfte nicht ohne Vernichtung anderer bewegungserzeugender entstanden sein könnten, führt zu der Annahme, es möchte die eine oder die andere der bei dem galvanischen Strome vorgehenden chemischen Umsetzungen die gesuchte Kraftquelle sein, so dass in Uebereinstimmung mit der Erfahrung kein Strom ohne Zersetzung bestehen könne.*) — Ueberlegen wir nun, welche Art von Wirkungen von Seiten der chemischen Umsetzung zur Einleitung des Stromes verwendbar ist, so kann diese keine andere sein als diejenige, welche unter andern Umständen Wärme erzeugt. Der thatsächliche Beweis für diese Art von Erhaltung, resp. Einleitung des electrischen Stromes durch die chemische Umsetzung würde gegeben sein 1) wenn dargethan ist, dass die Electrizitäten und die Wärme in einer solchen Beziehung zu einander stehen, dass sie sich gegenseitig anzuregen im Stande sind, mit andern Worten, dass durch die Wärmeschwingung die Bewegung der electrischen Flüssigkeit und umgekehrt durch den electrischen Strom Wärmeschwingungen erzeugt werden könnten. Die Erfahrung entscheidet bekanntlich für diese Annahme. — 2) Nur solche chemische Umsezzungen dürften einen electrischen Strom erzeugen, welche Wärme aus dem latenten in den freien Zustand zu führen vermögend wären. Zur Entscheidung dieses Satzes sind noch keine Versuche angestellt, doch sprechen wenigstens die bekannten Thatsachen nicht gegen diese Annahme. 3) Die durch den electrischen Strom im Maximum erzeugbare Wärme müsste genau so gross sein als diejenige, welche durch die in der Flüssigkeit vor sich gehenden Zersetzungen ohne Einleitung eines Stromes direct frei gemacht werden könnten. 4) Wenn der electrische Strom Wärme entwickelt, so muss er endlich, unter Annahme der Richtigkeit unserer Voraussetzungen, einen der gebildeten Wärmemenge proportionalen Verlust an Bewegung erleiden, eine Annahme, die insofern in Uebereinstimmung mit den Thatsachen ist, als die stromhemmenden Umstände (der Leitungswiderstand) die wärmeentwicklenden Bedingungen des Stromes darstellen.

Die Art und Weise, auf welche der einmal entwickelte Strom eine Bewegung materieller Theilchen einleiten kann, ist bekanntlich ausserordentlich mannigfaltig; er ist befähigt in seinem Gang durch Flüssigkeiten in diesen eine Ortsbewegung zu bewirken (electrische Diffusion), zwei von einem Strome durchflossene Leiter können sich anziehen und abstossen, ein Strom vermag ferner durch Vertheilung des Magnetismus, durch Entwicklung von Wärme oder Gasarten mit latenter Wärme in den von ihm durchflossenen Leitern u. s. w. Bewegungen materieller Massen einzuleiten.

---

*) Helmholtz, die Erhaltung der Kraft. Berlin 1847, p. 37 u. f.

2) Leistungen der Form, in welche die gewichtigen und gewichtlosen Stoffe gebracht sind. — Zu den bis dahin dargestellten, die Leistungen der thierischen Körper bedingenden Elementen tritt als eine besondere Bestimmung nun noch die Form hinzu. Die Bedeutung derselben liegt nicht darin, Bewegungen irgend welcher Art zu erzeugen. Die Allgemeingiltigkeit dieser Behauptung leuchtet sogleich ein, wenn man erwägt, dass die Form nichts anders ist, als die aus irgend welchen Anziehungen einer Substanz hervorgehende Lagerung der Theilchen. — Die Form kann demgemäss nur darin von Wichtigkeit werden, dass sie die Richtung und die zeitliche Erscheinung der Bewegungen, welche auf sie treffen, oder welche in der von ihr umschlossenen Substanz erzeugt werden, ändert. Die Wahrheit dieses Satzes kann durch die Betrachtung einer jeglichen Leistung der thierischen Körper, insoferne sich Formen an ihrer Erzeugung betheiligen, dargethan werden; wir erinnern hier nur an die eigenthümlichen Veränderungen, welche in der Wirkung der Muskelkraft durch die Biegungen der Gelenkflächen und die Länge der Knochen, die jene in Bewegung setzen, hervorgerufen werden; an die Veränderungen, welche die Lichtstrahlen in ihrem Gang durch die eigenthümlichen Krümmungen der Augenmedien erleiden, an die besondere Verbreitung der Nervenkräfte innerhalb der Nervenröhre u. s. w. — Demgemäss kann der Werth der Form, mag man denselben auch noch so hoch anschlagen, immer nur von untergeordneter Bedeutung sein im Vergleich zu den bewegungserzeugenden Bedingungen des thierischen Körpers.

3) Leistungen der äusseren Einflüsse für die im thierischen Körper vorgehenden Prozesse. — Das in besondere Formen geschlossene System von Elementen, welches wir den thierischen Körper nennen, steht nicht isolirt, sondern es ist auch der in die Ferne wirkenden Anziehung und Abstossung unterworfen, welche von einer Reihe dasselbe umgebender Stoffe ausgehen. Demgemäss werden die anziehenden und abstossenden Wirkungen, welche die elementaren Bedingungen des Körpers aufeinander üben, nicht die einzigen Componenten sein, aus denen die Leistungen des thierischen Körpers hervorgehen. Wie ersichtlich, wird die Wärme der Atmosphäre, der Wärmeleitungswiderstand der Kleidung u. s. w. von Einfluss sein auf die Summe der Wärme im Thierleib; die Intensität der Schwere an dem Orte, an welchem der Thierkörper sich befindet, wird zum Theil die Dichtigkeit der in ihm enthaltenen Stoffe bestimmen u. s. w. Durch diese Wechselwirkung, einerseits zwischen den tellurischen und siderischen und anderseits zwischen den physiologischen Bedingungen werden begreiflich zahllose Folgen erzeugt, und es wird demnach die Einsicht in die Hergänge des thierischen Körpers erst eine vollkommene sein, wenn die Angabe gemacht werden kann, welche äussere Ein-

flüsse sich auf die im thierischen Körper selbst vorhandenen Anziehungen in jedem Augenblicke geltend machen.

Folgerungen aus diesen Betrachtungen für die das Thier bezeichnenden Hergänge. — Als eine Folge der bisher erwähnten elementaren Leistungen ergibt sich sogleich, dass das einzelne Thier eine ungemeine Mannigfaltigkeit in den von ihm ausgehenden Erscheinungen bieten muss; ferner dass das Thier ein Gebilde darstellt, in dem scheinbar auf selbstständige Weise Kräfte entwickelt werden, dass diese Kraftentwicklung aber nur so lange und in dem Umfange möglich, in welchem die chemische Umsetzung innerhalb desselben geschieht; ferner, dass mit der Grösse des Stoffumsatzes und der in das Thier ein- und ausgeführten Stoffmassen die Fähigkeit zur Kraftentwicklung sinken (Ermüdung) und steigen (Erholung) muss; ferner, dass jede innerhalb des Körpers entstehende neue Bewegung oder Anziehung, oder eine jede ausserhalb desselben stehende, aber auf ihn wirksame nicht eine einfache, sondern eine mannigfach complicirte Veränderung des thierischen Organismus erzeugt; ferner dass die einzelnen Bestandtheile des Thierleibs in einer nur bedingten Abhängigkeit von einander bestehen u. s. w.

Diese zahlreichen, leicht noch weiter zu vermehrenden Uebereinstimmungen, welche sich ohne alle Hülfssätze zwischen den Folgerungen aus unseren Prämissen und den wirklichen Erscheinungen des Thierlebens finden, erwecken von vornherein ein um so günstigeres Vorurtheil für die Richtigkeit derselben, als man in der That durch keine andere der bisher angewendeten Betrachtungsweisen auch nur entfernt etwas Aehnliches zu leisten vermag. Dieses bestimmt uns denn nun auch, die physikalische Anschauungsweise in voller Strenge zur Anwendung zu bringen.

Allgemeinste Aufgaben der physiologischen Untersuchung. — Unter Voraussetzung der Richtigkeit vorstehender Betrachtungen, lassen sich nun folgende allgemeine Aufgaben im Bereich der Physiologie für möglich erklären.

1) Man bestrebt sich den thierischen Körper in seine Bestandtheile zu zerlegen, und sucht diese letzteren, abgesehen von ihren Leistungen innerhalb des thierischen Organismus, durch möglichst scharfe Kennzeichen irgend welcher Art von allen andern zu scheiden. — Diese wichtige und fundamentale Arbeit übernimmt für die Stoffe die Chemie, für die Formen die Anatomie; die erstere bedient sich zur sichern Bezeichnung ihrer Objecte des Atomgewichts und daneben der hervorragendsten Verwandtschaftsäusserungen zu den gewöhnlichen Reagentien, der Crystallform und des spez. Gewichts. — Die Anatomie müsste diesen Ansprüchen gemäss ihre Formen durch Angabe der constanten und wo möglich mathematisch ausdrückbaren Verhältnisse

bezeichnen; leider begnügt sie sich ohne jede Anstrengung zum Bessern vorzuschreiten, mit sehr wenig bestimmten Charakteristiken und zum Theil mit ganz gedankenlosen Messungen.

2) Man bestrebt sich, die von mehr oder weniger complicirten Apparaten ausgehenden Leistungen ihrem absoluten Werth nach zu messen, ohne Rücksicht auf die Art und Weise, wie diese Resultirende sich aus dem ihr zu Grunde liegenden Prozesse erzeugt. — Zu diesen Betrachtungen gehört z. B. die Bestimmung des Blutdrucks, der Geschwindigkeit der Nervenleitung, die Bestimmung der Menge der Athmungsluft, u. s. w. Mag die Erfüllung dieses Bestrebens im einzelnen Falle sich noch so schwierig darstellen, und die gemessene Leistung auch von den wichtigsten Organen ausgehen und wichtigster Art sein, das Resultat wird immer nur von einem grösseren statistischen und von einem geringeren wissenschaftlichen Werth sein; den letzteren erhält es nur dadurch, dass es den Beobachtern Fingerzeige zur wahren physiologischen Untersuchung gewährt.

3) Man bestrebt sich; irgend eine Leistung als eine Funktion der sie erzeugenden Bedingungen aufzufassen; diese Aufgabe ist als die höchste der physiologischen Forschungen anzusehen. Ganz allgemein kann man sich zweier Wege bedienen, um der durch sie gebotenen Anforderung zu genügen. a) Entweder man combinirt theoretisch (durch den mathematisch-physikalischen Calkül) oder praktisch (durch den physikalisch-chemischen Versuch) eine gewisse Summe von Bedingungen von bekannten und von den im Organismus vorhandenen angenäherten Eigenthümlichkeiten und vergleicht die durch sie hervorgebrachten Wirkungen mit den in der Natur erzeugten. Diese direkte Methode ist diejenige, welche sogleich zu den grössten Aufschlüssen führt; aber sie ist nur selten anwendbar. Sie ist aber schon mit Erfolg in Anwendung gebracht worden, z. B. als künstliche Verdauung, als Stromlauf in elastischen Röhren, als besondere electrische Combination u. s. w. Zur Aufhellung des Verdauungsprozesses, des Blutlaufes, der Muskelwirkungen u. s. w. b) Wenn dieser Weg nicht anwendbar ist, führt ein anderer, meist nicht minder schwieriger zum Ziele; er läuft darauf hinaus, die an irgend welchem Prozesse sich betheiligenden Bedingungen, gleichgiltig ob sie sämmtlich bekannt oder nicht bekannt sind, in Gruppen zu spalten, von denen die einen constant erhalten, die anderen in messbarer Weise verändert werden, zu Zeiten, in denen man die Werthe der aus dem Prozess hervorgehenden Leistungen misst. Diese allgemeine Methode gibt unter den gemachten Voraussetzungen Aufschluss über den Antheil, den eine (die variable) Bedingung an der Erzielung der Gesammtleistung hat, ohne dass sie aber, wie die vorher erwähnte uns zugleich belehrte, durch welche eigenthümliche Wirkung auf die

anderen Bedingungen die variable dieses Gesammtresultat erzeugen hilft. — Diese Methode gewährt der Untersuchung einen geradezu unbegrenzten Spielraum und die durch sie erlangten Aufklärungen sind immer werthvoll, vorausgesetzt, dass man die verlangten Forderungen möglich machen kann; als eine Anwendung derselben darf man es aber natürlich nicht betrachten, wenn man, wie es von wenig denkenden Beobachtern nur zu häufig geschieht, eine Bedingung variirt, während man sich nicht der Constanz der übrigen versichert hat. — Die Behauptung, dass jede durch dieses Mittel gewonnene Aufklärung werthvoll sei, schliesst begreiflich die andere nicht aus, dass eine Gradation des Werthes innerhalb ihrer Resultate bestehe. Mit Rücksicht auf diesen Satz darf ausgesprochen werden, dass die Untersuchung um so allgemein gültigere und wahre Aufschlüsse erzielende Früchte bringen wird, je mehr elementare Bedingungen eines Prozesses sie variabel zu machen im Stande ist.

Plan des Vortrags der Physiologie. Die Erfahrungen lehren, dass die in dem thierischen Körper eintretenden chemischen Elemente grösstentheils sich zu sog. zusammengesetzten Atomen vereinigen; diese Verbindungen erster Ordnung treten dann zu solchen zweiter und höherer Ordnungen zusammen, so dass die von den chemischen Eigenschaften der Körperbestandtheile erzielten Lebensfunctionen nicht von einem unmittelbaren Aufeinanderwirken der Elemente herrühren, sondern bedingt sind durch die Resultirenden aus den complizirten Verbindungen. Diese chemischen Verbindungen treten im festen und flüssigen Zustande zur Bildung von mikroskopischen Formen zusammen; eine Zahl von solchen gleich- oder ungleichartigen Formen bildet mehr oder weniger innig zusammengelagerte von einander räumlich gesonderte Gruppen, sogenannte secundäre Formen oder Organe; mehrere solcher Organe stehen darauf wieder theils der räumlichen, theils der funktionellen Anordnung als Organgruppen in Beziehung, aus deren Zusammenordnung endlich der sog. Organismus erwächst.

Diese Erfahrungen bezeichnen der Darstellung den Weg, welchen sie einzuschlagen hat, um zu einer Einsicht in die physiologischen Vorgänge zu führen. Sie verlangen, dass man zuerst die Beziehungen darstelle, welche die als chemische Einheit in den Körper tretenden Stoffe zu einander besitzen, dann welche resultirende Wirkungen aus ihrer Combination entstehen u. s. w., mit einem Worte, eine vom relativ Einfachen zum immer weiter Verwickelten aufsteigende Darstellung.

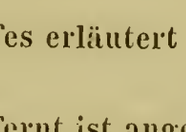
Der hier vorgezeichnete Plan ist in den folgenden Mittheilungen insoweit befolgt, als er nach dem Umfange der der Wissenschaft angehörigen Thatsachen nicht zu leeren Schematismen und zu Dunkelheiten führt. In diesem Sinne ist dem vorliegenden Bande als erster Theil die

Physiologie der Atome und Aggregatzustände einverleibt, und hierauf die Physiologie der Nervenröhren und des Ganglienkörpers und der aus ihm vorzugsweise hervorgehenden Combinationen, dargestellt, dann ist die Lehre vom Muskelelemente und der durch ihre Zusammenwirkung gebildeten Organe erörtert worden.

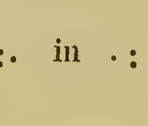
Erster Abschnitt.

Physiologie der Atome.

Nachdem die organische Chemie die wägbare Masse des Thierleibs als eine Zusammenhäufung atomistischer Individuen erkannt hat, ist es der Physiologie zugewiesen zu ermitteln, welche Funktionen jedes der mehr oder weniger complizirten Atome im thierischen Körper übernimmt. Diese Aufgabe wird als gelösst anzusehen sein, wenn die Anordnung der Elemente innerhalb des complizirten Atoms, die Menge seiner latenten Wärme und die Verwandtschaftsäusserungen bekannt sind, welche jedes einzelne Atom gegen alle übrigen im thierischen Körper enthaltenen unter den dort gegebenen Bedingungen zeigt.

a) Anordnung der Atome. Rationelle Formel. Die chemischen Verbindungen können bekanntlich unter der Einwirkung des Lichts und der Wärme, der Electrizität und anderer chemischen Reagentien zerfällt werden. Als Producte dieser Zerfällung treten nun aber meist nicht die Elemente, sondern Stoffe auf, welche selbst wieder mehr oder weniger zahlreiche Atome enthalten. Aus diesem Umstande schliesst der Chemiker, es möchte eine solche complicirte Verbindung nicht aus der unmittelbaren Vereinigung der Elemente, sondern aus einer Verbindung schon selbst zusammengesetzter Moleküle bestehen. Mechanisch ausgedrückt würde dieses heissen, dass innerhalb einer complicirten Verbindung nicht jedes elementare Atom das andere mit gleicher Stärke anzieht, sondern dass eine gewisse Zahl derselben eine kräftigere Anziehung zu einander äussernd innig geschlossene Atomgruppen bilden, deren Einzelanziehungen sich zur Erzeugung einer nach aussen wirkenden Resultirenden vereinigen. Eine jede dieser Atomgruppen würde nun als ein Ganzes auf irgend welche andere anziehend wirken. Da die Verbindung leichter in Gruppen als die Gruppe in ihre Elemente zerfällt, so könnte man noch den näher bestimmenden Zusatz beifügen, dass die zwischen den Bestandtheilen der Gruppe wirksamen Anziehungen kräftiger wären als diejenigen zwischen den Gruppen. Man kann sich das so eben vorgetragene Theorem durch ein Bild verständlich machen, wenn man sich die elementaren Atome als Punkte denkt und sich die Stärke ihrer gegenseitigen Anziehung durch die räumliche Näherung der Punkte darstellt, wie es die beistehende Figur eines sechszehnatomigen Stoffes erläutert  — Obwohl nun die Wissenschaft noch weit davon entfernt ist angeben zu können, was für besondere Hergänge den Thatsachen, die man unter dem Wort Atomanordnung zusammenfasst, zu Grunde liegen, so steht doch fest, dass in einer jeden complicirten Verbindung eine gewisse Zahl von Atomen zu einander in einer innigeren Beziehung stehen als zu allen übrigen.

Die Thatsachen zwingen aber nun zu der weitern Annahme, dass die Anordnung der Atome innerhalb eines complicirten Stoffes keine absolute, sondern eine mit den Umständen wechselnde sein müsse; denn ein und derselbe Körper liefert unter verschiedenen Einflüssen verschiedene Zerfällungsprodukte. Diese dem Thatbestand gemässe Erweiterung des oben gegebenen die Atomlagerung bestimmenden Begriffs schliesst bei genauerer Betrachtung eine theoretische Nothwendigkeit in sich. Denn da wir das Bestehen eines complicirten Atoms als Folge der in ihm wirksamen Anziehung ansehen, so muss, wenn ein neuer wirksamer Einfluss zu dem bisher vorhandenen hinzutritt, eine Veränderung in den bisher bestandenen Anziehungen geschehen. Indem wir noch einmal unser obiges Bild zur Erläuterung benutzen, wollen wir voraussetzen, es wandle sich durch die Gegenwart irgend eines zersetzenden

Einflusses die Form in  um, indem z. B. ein neu hinzutretendes chemisches Reagens besondere Verwandtschaft zu 2 Atomgruppen (der rechten und der mittlern) besässe. Die Folge dieser veränderten Stellung würde offenbar darin bestehen, dass die drei übrigen Atomgruppen (linke, obere und untere) von dem Druck der Anziehung der beiden andern befreit ihrer eigenen Folge geben könnten.

Das Schwankende, welches in den bis dahin gemachten theoretischen Angaben liegt, könnte Veranlassung sein, von streng wissenschaftlichem Standpunkte aus ihren Werth überhaupt in Frage zu stellen; indem wir die Berechtigung hierzu nicht bestreiten, müssen wir dagegen mit um so ernsterer Betonung auf die praktische Bedeutung jener Thatsachen hinweisen. Denn es ergibt sich aus ihnen, dass weder durch die absolute Zahl und die Qualität der in eine Verbindung getretenen elementaren Atome noch durch die Zersetzung, welche ein complicirtes Atom unter dieser oder jener beliebigen Bedingung erleiden kann, alle die Folgen bestimmt sind, welche durch die Anwesenheit einer Verbindung möglich werden, sondern dass zur vollkommenen Charakteristik dieser Folgen noch gegeben sein muss, welche Zersetzung der Atom-complex unter ganz bestimmten Bedingungen erleidet; oder um in der Sprache der Chemiker zu reden: dem Physiologen ist es nothwendig zu wissen, wie die rationelle Formel der complexen chemischen Atome beschaffen sei, während sich dieselben im thierischen Körper aufhalten.

b) Da wir die aus dem latenten Zustand hervortretende Wärme als eine der wesentlichsten Ursachen der physiologisch mechanischen Kraftentwicklung ansehen, so bedarf es keiner Erläuterung, dass wir einen Werth darauf legen müssen, zu erfahren, wie beträchtlich die latente Wärme der in den thierischen Körper eintretenden und ihn verlassenden Stoffe sei.

c) Endlich scheint es auch selbstverständlich, dass dem Physiologen vorzugsweise daran gelegen sein muss, die Verwandtschaftserscheinungen zu kennen, welche sich entwickeln, wenn die im thierischen Körper vorhandenen Stoffe unter den daselbst gegebenen Bedingungen zusammentreffen.

Die Lösung der Aufgabe ist von der Wissenschaft noch nicht erreicht; denn wir kennen noch nicht einmal alle complexe Atome, welche die gewichtigen Massen des thierischen Körpers ausmachen, wie wir daraus schliessen, dass ihre Zahl durch die Entdeckungen der Chemiker sich jährlich mehrt; unter den durch ihre Eigenschaften als specifische Atomcomplexe festgestellten, gibt es ferner eine nicht unbeträchtliche Zahl, deren empirische Formel (das Atomgewicht) noch unbekannt ist; die Atomlagerung derer, von denen die empirische Formel bekannt ist, liegt endlich meist ganz im Dunklen. — Die

latente Wärme der Verbindungen ist noch gar nicht bestimmt, und zur Aufhellung der wichtigsten Verwandtschaftsäusserungen ist noch wenig geschehen.

1. Sauerstoffgas. Der gasförmige Sauerstoff findet sich innerhalb des thierischen Organismus entweder in andern freien Luftarten, oder mit diesen in Flüssigkeiten diffundirt. Sein Vorkommen ist sehr verbreitet.

Die Funktionen, die er im lebenden Thier leistet, übt er vermittelst seiner lebhaften Verwandtschaften aus, die er zu den organisch-chemischen Atomen des thierischen Körpers besitzt. Diese Verwandtschaften bedingen es, dass die ursprünglich sauerstoffarmen Bestandtheile der thierischen Organe in sauerstoffreiche übergeführt werden. Die bemerkenswertheste Folge dieser Art von chemischen Prozessen besteht darin, dass durch dieselben eine Menge Spannkräfte in freie (lebendige) Kräfte verwandelt werden, welche auf verschiedene Art die Bewegungserscheinungen des Lebens bedingen.

In Berücksichtigung der Thatsache, dass unsre Nahrungsmittel aus sauerstoffarmen, unsre Aussonderungsprodukte aus sauerstoffreichen Atomen bestehen, hat man den chemischen Vorgang innerhalb des thierischen Organismus einen Verbrennungsprozess genannt. Dieser Ausdruck ist unverfänglich, sowie man festhält, dass diese Verbrennung von ganz besonderer Art ist. Die Besonderheiten derselben liegen darin, dass 1) zu ihrer Einleitung keine hohe Temperatur nöthig ist. Die räthselhafte Erscheinung, dass innerhalb des Thierkörpers bei niederen Temperaturen die schwerverbrennlichsten Stoffe in CO_2, HO u. s. w. umgesetzt werden, ist der Lösung näher gerückt durch die wichtige Entdeckung von Schönbein wonach das O in zwei sog. allotropischen Modificationen vorkommt; die eine derselben, welche Schönbein den erregten Sauerstoff nennt, hat so energische Verwandtschaften, dass sie bei jeder Temperatur überall Oxydationen einleitet. Wenn, wie man vermuthen darf, erregter O im thierischen Körper vorkommt, so würde der Grund einer Verbrennung bei niederer Temperatur klar vorliegen. — 2.) Die Verbrennung im thierischen Körper zeichnet sich vor der bei hohen Temperaturen auch dadurch aus, dass die durch sie gelieferten Produkte andere sind. Bekanntlich zerfallen Eiweiss, Fette, u. s. w. bei der Einwirkung des O unter Einfluss hoher Temperaturen nicht sogleich in CO_2; HO; NH_3 u. s. w., sondern vorerst in Brenzprodukte, welche dann erst vollkommen verbrennen. Die Endprodukte der Verbrennung sind nun innerhalb und ausserhalb des thierischen Körpers dieselben, aber die Zwischenprodukte sind verschieden, wie schon daraus hervorgeht, dass man die erwähnten Brenzstoffe im Organismus nicht findet.

Die grösste Uebereinstimmung zwischen beiden Verbrennungsweisen zeigt sich dagegen darin, dass auf beiden Wegen gleichviel Wärme entwickelt wird. Wir können dieses mit Sicherheit daraus schliessen, weil die Verbrennungsprodukte des thierischen Körpers gerade soviel und sowenig latente Wärme enthalten als die der Flamme. Dass diese Wärme, welche innerhalb des thierischen Körpers, aus den latenten in den freien Zustand übergeführt wurde, als bewegungserzeugendes Mittel gebraucht wird, leuchtet recht ein, wenn man erfährt dass die Nerven und Muskelfunktionen der Beihülfe des O nöthig haben.

Das Sauerstoffgas wird als solches aus der atmosphärischen Luft in den Thierkörper eingeführt.

2. Stickgas ist in allen mit Luft und Flüssigkeit erfüllten Räumen des thierischen Körpers. Seine physiologische Bedeutung ist unbekannt. Es wird theils aus der Atmosphäre aufgenommen, zum Theil scheint es durch Zersetzung stickstoffhaltiger Gewebsbestandtheile gebildet zu werden. Siehe die Lehre von der Athmung.

3. und 4. Wasserstoffgas und Kohlenwasserstoffgas(?) kommen im Darmkanal vor. Beide Gasarten, von denen namentlich die letzte noch genauer bestimmt werden muss, sind Zersetzungsprodukte der Nahrungsmittel. Ueber ihre physiologische Bedeutung ist nichts bekannt.

5. Wasser. Die Bedeutung, welche diese im menschlichen Organismus so verbreitete Flüssigkeit für das Leben gewinnt, erhält sie, so weit bekannt, durch folgende Eigenschaften: a) Das Wasser ist Lösungsmittel sehr vieler Bestandtheile des Thierkörpers und als solches das Mittel, die Bewegung vieler Atome durch den thierischen Körper möglich zu machen, ohne die Hilfe der in der Ferne wirkenden Anziehung (s. Diffussion), und die Verbindungen respective Umsetzungen der Atome zu erleichtern. b) Das Wasser ist Imbibitionsstoff; vermittelst seiner Adhäsion zu den meisten und wesentlichsten festen Bestandtheilen des Thierleibes, überzieht es dieselben an ihrer Oberfläche mit einer feinen Schichte, und insofern diese Substanzen von feinen Oeffnungen und Röhren (Poren) durchbohrt sind, dringt es auch in das Innere derselben; in Folge dessen werden die Gewebe für die in Wasser löslichen Substanzen durchgängig; ferner verändert sich hiermit das specifische Gewicht, die Elasticität, die Durchsichtigkeit und die electrische Leitungsfähigkeit der Gewebe. c) Sein Dampf bedarf zu seiner Entstehung — welche bekanntlich so lange geschieht, als der das Wasser umgebende Luftraum nicht schon mit Wassergas gesättigt ist — beträchtlicher Mengen von Wärme, die in den sogenannten latenten Zustand übergeführt werden. Durch die Gegenwart des Wassers, respective durch die Verdunstung desselben, wie sie in der Haut, den Lungen u. s. w. fortwährend geschieht, wird dem thierischen Körper ununterbrochen Wärme entzogen; das Wasser ist demnach ein Abkühlungsmittel, und insoferne es vermittelst besonderer Apparate bald mehr bald weniger abkühlt, ein Wärmeregulator.

Nicht unwahrscheinlich, aber noch unerwiesen ist es, dass das Wasser auch durch seine chemischen Eigenschaften Dienste leistet, sei es als Hydrat und Basiswasser, oder indem sich die dasselbe constituirenden einfachen Atome (H u. O) an mancherlei Zersetzungen organischer Stoffe betheiligen.

Das Wasser wird zum grössern Theil mit den Nahrungsmitteln aufgenommen, zum kleineren bildet es sich bei dem stetigen langsamen Verbrennungsprozesse der wasserstoffhaltigen Verbindungen unserer Gewebe im lebenden Zustand.

6. Kohlensäure und ihre Salze.

A. Die freie Kohlensäure ist in den, im thierischen Körper enthaltenen Luftarten und in den meisten Flüssigkeiten desselben diffundirt. Ob in allen Flüssigkeiten, aus denen CO_2 durch Anwendung von physikalischen Mitteln (Verminderung des Luftdruckes, Erwärmung u. s. w.) in Gasform entfernt werden kann, die CO_2 nur diffundirt oder in chem. Verbindungen enthalten ist, steht noch dahin.

Sie unterstützt das Leben durch ihr Vermögen, sich in dem Wasser des Organismus leicht aufzulösen und durch ihre Fähigkeit in der Atmosphäre zu verdunsten.

Sie wird zum kleinsten Theil in den Organismus mit den Nahrungsmitteln eingeführt, zum grössten Theil in ihm durch die langsame Verbrennung kohlenstoffhaltiger Bestandtheile gebildet.

B. Kohlensaure Natronsalze. Nach den im thierischen Körper gegebenen Bedingungen, dürften alle drei Verbindungen der CO_2 mit NaO in ihm vorkommen. Denn da sich häufig mit CO_2 gesättigte Räume finden, so muss sich in diesen das etwa vorhandene NaO CO_2 und 2 NaO 3 CO_2 in NaO 2 CO_2 umwandeln; da dieses aber dann wieder in eine fast kohlensäurefreie Atmosphäre gelangt, so wird dasselbe in 2 NaO 3 CO_2 zurückgewandelt. NaO CO_2 wird sich aber bilden, wenn CO_2 mit dreibasisch-phosphorsaurem Natron in Berührung kommt.

Diese Salze greifen nachweislich in den Lebensprozess ein: a) durch ihr Verhalten gegen CO_2; indem innerhalb einer Atmosphäre dieser Säure sich das anderthalb und einfach kohlensaure Natron in doppelt kohlensaures umwandelt, und das doppelt kohlensaure innerhalb anderer Gasarten einen Theil seiner CO_2 verliert, sind sie geeignet die CO_2 aus den mit dieser Luftart geschwängerten Geweben in die äussere Luft überzuführen, ein Hergang, welcher bei der Athmung genauer verfolgt werden wird. b) Durch die Einwirkung auf die Eiweisskörper bewerkstelligen sie die allmälige Umsetzung derselben, namentlich bedingen sie, dass das Eiweiss, das in der Blutflüssigkeit gelösst ist, (unter Abscheidung von Schwefel und Ammoniak?) in ein dem sogenannten Protein ähnliches Produkt umgesetzt wird; die alkalisch reagirenden einfach und anderthalbfach kohlensauren Natronsalze wirken ähnlich aber milder als das kaustische Natron. c) Ferner liefert es das Material zur Bindung der im thierischen Körper entstehenden oder in ihn gebrachten organischen oder mineralischen Säuren; die ersteren (milchsauren, essigsauren etc.) Salze werden unter dem Einfluss der im Organismus vorhandenen Oxydationsmittel in kohlensaure Salze umgebildet. d) Ferner erhält seine Gegenwart mehrere wichtige eiweissartige Körper, namentlich Faserstoff und Käsestoff in Lösung.

Die kohlensauren Natronsalze werden theils mit den Nahrungsmitteln eingeführt, zum überwiegenden Theil aber aus Salzen des Natrons mit einer organ. Säure gebildet.

C. Kohlensaure Kalkerde findet sich krystallinisch im Labyrinth als sogenannte Gehörsteine; dann amorph in den Knochen, Harn, Speichel, Darmkanal. Dieses in den thierischen Flüssigkeiten schwer lösliche Salz scheint innerhalb der Knochen dem phosphorsauren Kalk ähnliche Funktionen zu haben; im Uebrigen liegt seine Bedeutung im Dunkeln.

D. Kohlensaure Magnesia. Man kennt ihr Vorkommen, nicht aber ihre Bedeutung.

7. Chlor Verbindungen.

A. Chlorwasserstoff. Seine Gegenwart im Magensaft, früher behauptet und geleugnet, wird neuerlichst wieder von C. Schmidt angenommen. — Die physiologische Wichtigkeit der Salzsäure ist bedingt durch ihr Vermögen einige in Wasser unlösliche Eiweiss- und Leimstoffe in Lösung zu versetzen.

Auf welchem Wege sie aus ihren Salzen im Magen frei gemacht wird ist unbekannt.

B. Alkalische Chlorsalze. Alle wässerigen thierischen Flüssigkeiten enthalten diese Salze, und zwar kommt überall ein Gemenge von Kochsalz und Chlorkalium vor, ausgenommen in den Säften, welche in dem Muskelprimitivbündel und dem Blutkörperchen eingeschlossen sind. In diesen beiden Flüssigkeiten soll nur Chlorkalium aber kein Chlornatrium aufgelöst sein. Der Gehalt an alkalischen Chlorsalzen in den normalen Säften übersteigt niemals 0,5 Prozent; in grösseren Mengen scheinen diese Salze überall giftig zu wirken.

Die grosse Verbreitung und die, im Vergleich zu andern löslichen Salzbestandtheilen, grossen Mengen der im Thierleib vorkommenden alkalischen Chlorsalze machen es wahrscheinlich, dass sie wichtige Funktionen erfüllen. Die Besonderheiten derselben lassen sich aber nur vermuthungsweise angeben.

Man hält sie für wichtig: a) als Imbibitionsstoffe; wegen ihrer Löslichkeit und Diffussionsfähigkeit in das alle Gewebe durchdringende Wasser, gelangen sie selbst in alle Gewebe. Sie bedingen hier, wie es nach später zu erwähnenden Versuchen wahrscheinlich ist, einen höheren Elastizitätscoeffizient der Gewebe, und üben durch Verengerung der Poren zugleich einen Einfluss auf die Art und die Geschwindigkeit der Diffussion anderer im Wasser aufgelöster Bestandtheile der thierischen Flüssigkeiten. — b) Sie sollen die Löslichkeit einzelner Thierstoffe im Wasser modifiziren, indem sie entweder dieselbe unterstützen, wie die des Caseins, was sich in Kochsalzwasser auflöst, und des Faserstoffs dessen Gerinnung durch Kochsalzlösung verhindert wird, oder indem sie die Auflösung hemmen wie die des Blutroths, das sich in der Blutflüssigkeit bei starker Verdünnung mit Wasser auflöst. — c) Sie sollen einzelne chemische Umsetzungen erleichtern oder hemmen. So vermuthet man namentlich wegen des grossen Kochsalzgehaltes im Speichel und Magensaft, dass dasselbe die durch die Verdauungssäfte erzielte Umwandlung der mit der Nahrung aufgenommenen Nahrungssäfte begünstige (?) und zugleich eine bis zur Fäulniss schreitende Zersetzung desselben verhindere. Aus demselben Grund, dem beträchtlichen Gehalt der Flüssigkeiten des Knorpels, des Krebses und des Eiters an Kochsalz vermuthet man, dass es eine wesentliche Rolle in den zur Zellenbildung nöthigen che-

mischen Vorgängen übernehme; selbst wenn diese Vermuthung begründet ist, so liegt immer noch die Hypothese offen, dass das NaCl nur sehr indirekt hierbei thätig sei. Die alkalischen Chlorsalze werden mit den Nahrungsmitteln aufgenommen.

C. Erdige Chlorsalze. Unter den Bestandtheilen des thierischen Körpers findet sich Chlorkalcium (Speichel und Magensaft); ferner vermuthet man auch im Magensaft die Gegenwart des Chlormagnesiums. Ob mit Recht ist zweifelhaft. — Die Bedeutung beider Stoffe für das Thier ist unbekannt.

8. Fluorkalcium ist ein Bestandtheil des Zahnschmelzes und der Knochen; seiner grossen Härte wegen hält man es an diesen Orten für bedeutungsvoll.

9. Phosphorsaure Salze.

In einzelnen Fällen soll im Organismus freie Phosphorsäure vorgekommen sein; mit Olein und Glycerin gepaart, ist sie ein Bestandtheil des Hirns.

A. Phosphorsaure Alkalien. Von den mehrfachen Verbindungen der Phosphorsäure mit Kali und Natron findet sich in fast allen thierischen Säften 2 NaO HO PhO_5 und 2 KO HO PhO_5 aufgelöst; in einzelnen, unter Umständen wahrscheinlich auch 3 NaO PhO_5 und 3 KO PhO_5.

Diese Salzlösungen sind durch ihre alkalischen Eigenschaften, ferner durch die Fähigkeit Kohlensäure in grossen Mengen zu absorbiren, Harnsäure und Casein in Lösung zu erhalten, nachweislich für das Leben werthvoll. Ihr häufiges Vorkommen, namentlich aber ihre Anhäufung in einzelnen Theilen, wie in den Muskeln, in den Blutkörperchen, deuten noch auf besondere Funktionen, die sich aus ihren bekannten Eigenschaften noch nicht ableiten lassen.

Die phosphorsauren Kalien sind theils Nahrungsmittel, theils bilden sie sich während der Oxydation der aus eiweissartigen Stoffen gebildeten Organe; der Phosphor derselben wandelt sich in Phosphorsäure um, welche aus dem vorhandenen kohlensauren Natron die CO_2 austreibt.

B. Phosphorsaure Erden. Von diesen finden sich namentlich phosphorsaure Kalkerde und Magnesia.

Die im Menschen vorkommende phosphorsaure Kalkerde ist nach der Formel 3 CaO PhO_5 (Heintz) zusammengesetzt; sie kommt in den Knochen, Zähnen, eiweiss- und leimartigen Stoffen und dem Harne vor. Durch ihre Verbindung mit den eiweissartigen Stoffen (Eiweiss, Faserstoff, Käsestoff etc.) die in Alkalien löslich ist, wird sie im thierischen Körper verbreitet.

Mit Colla geht sie wahrscheinlich eine unlösliche Verbindung ein; ausserdem incrustirt sie einige andere gewebsbildende Stoffe; diese merkwürdige, noch nicht hinreichend verfolgte Eigenschaft gibt dem Organismus die Möglichkeit an die Hand, so feste Substanzen wie Knochen und Zähne zu bilden.

Die phosphorsaure Magnesia ist wahrscheinlich von gleicher chemischer Constitution und derselben physiologischen Bedeutung wie die Kalkerde.

Beide Salze werden mit den Nahrungsmitteln aufgenommen.

Phosphorsaures Eisenoxyd von der Formel $3\,Fe_2O_3\ PhO_5$ soll sich in den Muskeln, Haaren etc. finden?

10. Schwefelsaure Alkalien kommen vorzugsweise im Koth und Harn vor; die im Harn erscheinende SO_3 ist als ein Oxydationsprodukt des in leimartigen und eiweissartigen Substanzen enthaltenen Schwefels anzusehen; das kohlensaure Natron oder Kali bindet dieselbe. Ihre Bedeutung scheint von untergeordneter Wichtigkeit.

11. Kieselsäure. In geringer Menge in den Knochen, Zähnen (?), Haaren, Blut, Galle, Speichel, Harn des Menschen; ob und welchen Einfluss sie auf den Lebensprozess übt ist unbekannt.

12. Die Oxyde und Salze einiger Metalle, wie des Eisens, Kupfers, Bleis, Mangans u. s. w. kommen im Organismus unzweifelhaft vor; die Art ihres Vorkommens und die Wichtigkeit ihrer Gegenwart liegen noch im Dunkeln.

13. Ammoniaksalze. Kohlensaueres Ammoniak findet sich im Blut, Harn und Koth; es darf wohl als Umsetzungsprodukt der wesentlichsten Organbestandtheile betrachtet werden, das in den Lungen abdunstet und durch den Urin möglichst rasch entfernt wird.

14. Schwefelcyansalze. Schwefelcyankalium im Speichel und Schwefelcyanammonium im Harn nach Senfgenuss. Das Vorkommen dürfte vielleicht von Interesse werden, als ein Fingerzeig für besondere, an den bezeichneten Orten vor sich gehende Zersetzungen; ob die Stoffe von hervorragender physiologischer Bedeutung sind, ist unbekannt.

15. Oxalsaurer Kalk. In geringen Mengen im Harn, nach Genuss von vegetabilischen oxalsäurehaltigen Nahrungsmitteln und kohlensäurereichen Getränken, in dem Gallenblasen- und Uterusschleim. — Man vermuthet, dass die Oxalsäure ein Produkt des, im thierischen Organismus so verbreiteten, Oxydationsprozesses sei; über den Stoff, aus dem es gebildet werde, lässt sich nichts angeben.

16. Säuren von der empirischen Formel $C_{2n}\,H_{(2n-1)}\,O_3\,;\,HO$.

In den Säften und Geweben der Menschen sind aus dieser grossen Reihe folgende Glieder nachgewiesen:

a. $C_2\,H\,O_3\,;\,HO$ = Ameisensäure.
b. $C_4\,H_3\,O_3\,;\,HO$ = Essigsäure.
c. $C_6\,H_5\,O_3\,;\,HO$ = Propionsäure.
d. $C_8\,H_7\,O_3\,;\,HO$ = Buttersäure.
e. $C_{12}\,H_{11}\,O_3\,;\,HO$ = Capronsäure.
f. $C_{16}\,H_{15}\,O_3\,;\,HO$ = Caprylsäure.
g. $C_{32}\,H_{31}\,O_3\,;\,HO$ = Palmitinsäure.

h. $C_{34}\,H_{33}\,O_3$; HO = Margarinsäure.
i. $C_{36}\,H_{35}\,O_3$; HO = Stearophansäure. (?)

Diese Säuren erklärt man für Glieder einer natürlichen Gruppe wegen der Analogie in der Zusammensetzung, ferner wegen der sehr ähnlichen Zersetzungserscheinungen, die sie bieten, und endlich weil sich in den physikalischen und chemischen Eigenthümlichkeiten einzelner Verbindungen die allmäligsten Uebergänge zeigen, wenn man vergleichend von den höhern zu den niedern Gliedern unserer Reihe herabsteigt.

Die Analogie in der Zusammensetzung springt sogleich in die Augen, wenn man die Bruchstücke der mitgetheilten Reihe mit den übrigen noch bekannten Gliedern vervollständigt; man sieht da sogleich, dass sich jedes höhere vom nächstvorhergehenden durch $C_2\,H_2$ unterscheidet. — Von den Zersetzungserscheinungen besprechen wir hier nur einige der bekannten, welche der Physiologe besonders zu berücksichtigen hat, sie sind insofern in allen Gliedern gleichartig, als 1.) die Kalisalze unserer Säuren auf elektrolytischem Wege unter Aufnahme von O nach Kolbe ganz allgemein zerlegt werden in $2(C\,O_2)$ und $(C_{2n}\,H_{2n}+{}_1)$ so z. B. die Essigsäure $(C_4\,H_3\,O_3)$ in $2(C\,O_2)$ und $C_2\,H_3$; 2) durch Oxydation bei niederen Temperaturen und in Gegenwart faulender Substanzen geht ein beliebiges Glied unserer Reihe jedesmal in das folgende unter Bildung von 2 Atom Kohlensäure und 2 Atom Wasser über. In einer Formel ausgedrükt zerfällt also $C_{2n}\,H_{(2n-1)}\,O_3$; HO unter Aufnahme von O_6 in $C_{(2n-2)}\;H_{(2n-3)}\;O_3$; HO in $2\,CO_2$ und 2 HO; 3) durch anhaltendes Einleiten von Chlor in ein Glied der Gruppe während seines flüssigen Zustandes wird der Wasserstoff desselben allmälig verdrängt und durch Chlor ersetzt. Bevor die vollkommene Verdrängung des Wasserstoffs erreicht ist, bilden sich Zwischenprodukte, in denen jedesmal ein Aequivalent Wasserstoff durch ein Aequivalent Chlor vertreten ist. Die Zersetzung wird durch folgende Gleichung ausgedrückt: $C_{2n}\,H_{(2n-1)}\,O_3$; HO geht durch $C_{2n}\,H_{(2n-2)}\,Cl\,O_3$; HO schliesslich in $C_{2n}\,Cl_{(2n-1)}\,O_3$; HO über; so z. B. verwandelt sich Essigsäure $= C_4\,H_3\,O_3$; HO in $C_4\left\{\begin{matrix}H_2\\Cl\end{matrix}\right.O_3$ HO; dann in $C_4\left\{\begin{matrix}H\\Cl_2\end{matrix}\right.O_3$; HO endlich $C_4\,Cl_3\,O_3$; HO = Chloressigsäure. — So sehr die physikalischen Eigenschaften des ersten und letzten Gliedes unserer Reihe von einander abweichen, so nahestehend sind diejenigen zweier unmittelbar aufeinander folgenden. So liegt z. B. der Siedepunkt der höchsten Glieder der Reihe bei dem Normalbarometerstand so hoch, dass er ohne Zersetzung nicht erreicht werden kann, von da ab nimmt er für jedes Glied um 18,4° C ab (Kopp), bis endlich die Essigsäure früher als das Wasser kocht. Die höchsten Glieder tragen in Bezug auf ihre Adhäsions- und Lösungsverhältnisse die Charaktere der Fette, während die niederen Glieder in jedem Verhältniss mit Wasser mengbar sind. Die höheren Glieder sind geruchlos, die niederen riechen sehr intensiv und die einander nahestehenden Glieder in dem mittleren Abschnitte der Reihe zeigen sehr ähnliche Gerüche u. s. w. —

Diese Thatsachen insgesammt und namentlich aber, dass die niedern Glieder wiederholt $(C_2\,H_2)$ aufnehmen können, ohne ihren Charakter als Säuren einzubüssen, dass man ohne Aenderung ihrer Sättigungscapazität Cl statt des H in sie einführen kann, bestimmen nach unsern jetzigen Begriffen die Annahme, dass die vorliegenden Körper gepaarte Säuren sind. Ueber die Natur der Säure und des Paarlings bestehen Differenzen in den Ansichten der Chemiker. Nach Löwig*) besteht der Paar-

*) Grundriss der organischen Chemie. Braunschweig 1851, p. 35.

ling aus fortlaufend eintretenden $(C_2\ H_2)$ 1, 2 . . . n und die Säure aus Ameisensäure $C_2\ H\ O_3$; H O, so dass die Reihe das Ansehen

$$C_2\ H\ O_3;\ H\ O = \text{Ameisensäure},$$
$$(C_2\ H_2)\ C_2\ H\ O_3;\ H\ O = \text{Essigsäure},$$
$$2\ (C_2\ H_2)\ C_2\ H\ O_3;\ H\ O = \text{Propionsäure, und}$$
$$\cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot$$
$$16\ (C_2\ H_2)\ C_2\ H\ O_3;\ H\ O = \text{Margarinsäure}$$

annehmen würde. — Kolbe*) hält den Paarling des ersten Gliedes (der Ameisensäure) für H, zu dem in den höhern Gliedern noch $C_2\ H_2$ hinzutritt; das Säureradikal, welches nach ihm aus C_2 besteht, ist durch O_3 oxydirt, jedoch so, dass diese Kohlenstoff- und Sauerstoffatome nicht in der Art der Verbindung sich finden, wie sie in der Oxalsäure vorkommen. Demnach würde unsere Reihe geschrieben werden müssen

$$\overset{\frown}{H\ C_2}\ O_3;\ H\ O = \text{Ameisensäure},$$
$$(C_2\ H_3)\overset{\frown}{C_2}\ O_3;\ H\ O = \text{Essigsäure},$$
$$\cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot$$
$$(_{32}H_{33})\overset{\frown}{C_2}\ O_3;\ H\ O = \text{Margarinsäure},$$

wobei die Klammer über dem Paarling und C_2 die besondere Stellung von C_2 zu dem Paarling im Gegensatz zu O_3 andeuten soll.

Die Gründe, welche Kolbe **) für seine Ansicht geltend macht, bestehen in den schon besprochenen Zersetzungs-Erscheinungen unter dem Einfluss des elektrischen Stromes, und ferner darin, dass man die Cyanverbindungen des Methyls, Aethyls, Amyls u. s. w. mit Leichtigkeit in Essigsäure, Propionsäure u. s. w. umwandeln kann, indem man statt des N durch Einwirkung von KO, O_3 substituirt so dass:

$(C_2\ H_3)\ C_2\ N$ = Methylcyanür in $(C_2\ H_3)C_2\ O_3$ = Essigsäure;
$(C_4\ H_5)\ C_2\ N$ = Aethylcyanür in $(C_4\ H_5)C_2\ O_3$ = Propionsäure

u. s. w. übergeführt wird.

Von den physiologisch wichtigen Gliedern unserer Reihe erscheint hier erwähnenswerth:

A. Stearophansäure (?) im Menschenfett mit Lipyloxyd als Stearophanin (Heintz***).

B. Margarinsäure kommt im freien Zustand, mit Kali und Natron (als Seife) und mit Lipyloxyd (als Margarin) verbunden, vor; — sie erscheint crystallinisch, oder häufiger in flüssiger Form, entweder als Seife in Wasser, oder als Margarin in andern flüssigen Fetten gelöst.

Ihre Bedeutung, so weit sie bekannt, erhält sie 1) durch ihre besonderen Adhäsionsverwandtschaften, worüber bei den neutralen Fetten das Weitere, 2) durch die Fähigkeit, sich bei niederen Temperaturen mit Sauerstoff zu verbinden, hiebei Wärme zu entwickeln und die Endprodukte C O_2 und H O zu bilden, welche in dem Lebensprozesse

*) Annalen der Chemie v. Liebig. 76. Bd. 1.
**) Liebig's Annalen LXV.
***) Pharmazeut. Centralblatt 1851. 645.

erst, wenn sie im Uebermaass vorhanden, störend eingreifen, und sich so leicht aus dem thierischen Körper entfernen lassen, 3) durch ihre Eigenschaft, ein schlechter Wärmeleiter zu sein.

Der besondere Gang der Zersetzung den die im thierischen Körper vorhandene Margarinsäure einschlägt, um schliesslich zu CO_2 und HO zu werden, ist nicht bekannt; wir wissen nur, dass diese Oxydation geschehen muss, weil wir trotz der grossen Mengen von Margarinsäure, die wir täglich mit unserer Nahrung geniessen, und aus dieser in das Blut aufnehmen, keine Spuren als solche (Speichel?) der Aussenwelt zurückgeben, und dennoch die Fettmenge im thierischen Körper nicht zunimmt. — Die Vermuthung, dass die Magarinsäure durch eine besondere Art von Gährung allmälig durch immer wiederholte Entziehung von $C_2 H_2$ bis auf $HC_2 O_3$; HO zurückgeführt werde, wird erst dann bewiesen sein, wenn noch die bisher vermissten Zwischenstufen von der Palmitinsäure bis zur Caprylsäure nachgewiesen wären. Die Beobachtung von Heintz *), dass im thierischen Organismus Bernsteinsäure $C_4H_2O_3$; HO vorkomme, erlaubt die Hypothese, dass die Margarinsäure auch noch durch eine andere Reihe von Zersetzungsprodukten in CO_2 und HO übergehen könne, nämlich durch die Reihe der Oxydationsprodukte, welche mit Fettsäure beginnen und mit Bernsteinsäure schliessen. — Die bei der Verbrennung unserer Säure entwickelte Wärme ist noch nicht untersucht. — Die grosse Verbreitung der Margarinsäure und ihre Theilnahme an der Bildung selbst der wichtigsten Organbestandtheile wie jener des Nervenmarks lassen vermuthen, dass sie mit den im Text gemachten Angaben nur in sehr lückenhafter Weise gewürdigt sei.

Sie wird in den Organismus als solche eingeführt, und wahrscheinlich auch aus der mit der Nahrung genossenen Stearin- und Stearophansäure gebildet. Wir vermuthen dieses, weil erstens Stearinsäure so leicht in Margarinsäure übergeht, und dann weil wir die genossene Stearinsäure nirgends im menschlichen Körper antreffen.

Zur Erläuterung des Uebergangs der Stearinsäure in Margarinsäure, gibt es zwei Hypothesen. Nach der einen derselben, welche die Stearinsäure identisch in der Zusammensetzung mit Margarinsäure sein lässt, **) erfolgt der Uebergang durch einfache Umlagerung; nach der andern dagegen, welche die Stearinsäure als aus $C_{68} H_{66} O_5$ 2HO (Bromeis) bestehen lässt, zerfällt 1 Atom. dieser Säure unter Aufnahme von 1 Atom Sauerstoff in 2 Atom Margarinsäure.

C. Palmitinsäure im Palmitin des Menschenfettes. (Heintz.)

D. E. Capryl- und Capronsäure (Redtenbacher); beide Säuren vermuthet man in den Fetten der Milch, im Schweiss (wegen des Geruchs). — Ueber ihre Bedeutung nichts bekannt. — Ihr Ursprung kann nach bekannten chemischen Thatsachen möglicher Weise ein sehr vielfacher sein; denn sie entstehen beim Faulen der Fette, namentlich der Margarin- und Oelsäure, bei rascher Oxydation der letzteren, ferner durch Oxydation der eiweissartigen Stoffe.

F. Buttersäure. Im Harn, wahrscheinlich in den Fetten der Milch, im Schweiss (?), Magensaft (?), Fette des Bluts (?). Ihrer Gegenwart verdankt die flüssige Absonderung mancher Hautstellen (Geschlechtstheile, Füsse etc.) einen eigenthümlichen Geruch.

---

*) Poggendorf Annalen LXXX. 114.

**) Laurent u. Gerhardt. Liebigs Annal. LXXII.

Die Quellen ihrer Abstammung können möglicher Weise noch mannigfaltiger als diejenigen der Capryl- und Capronsäure sein, da sie sich aus diesen und dann auch noch bei der Gährung milchsaurer Salze bildet, und unter den Fäulnissprodukten des Leims und der eiweissartigen Körper erscheint.

G. Propion(Metaceton)-Säure. Im Schweisse (Lehmann). Ihre Bedeutung dunkel. Für ihren Ursprung sind vielfache Möglichkeiten gegeben, da sie aus Buttersäure, Glycerin etc. entstehen kann.

H. Essigsäure. Im Magensaft (?), der Flüssigkeit des Fleisches (?), im Blut der Branntweintrinker (?) und als essigsaures Eisenoxyd in der Milz. Unter den Bestandtheilen des thierischen Körpers entsteht sie aus Buttersäure, aus Taurin und aus Alkohol *).

I. Ameisensäure. Im Schweiss; im Blut nach Zuckergenuss (?); in der Fleischflüssigkeit (?). — Entsteht durch Oxydationsprozesse aller organischen Thierstoffe.

Capryl-, Capron-, Butter-, Propion-, Essig- und Ameisensäure sollen vorzugsweise durch ihre Verbrennungsfähigkeit und die dabei entwickelte Wärme dem thierischen Körper bedeutungsvoll sein. Man vermuthet, dass sie in dem Maasse, in welchem sie sich bilden, auch wieder zerstört werden, woraus es erklärlich wird, dass trotz der Bildung beträchtlicher Mengen gleichzeitig nur geringe im Thierkörper enthalten seien.

17. Oelsäure. $C_{36}\,H_{33}\,O_3$; H O.

Ihre Zersetzungserscheinungen lassen sich theilweise deuten, wenn man sich die Atome in ihr nach der Formel $(C_{32}\,H_{32})\,C_2\,C_2\,H\,O_3$; H O (Löwig) geordnet denkt, wonach sie aus Margarinsäure mit dem eingeschobenen C_2 Kern bestände.

Durch Behandlung mit Salpetersäure geht sie nämlich leicht in Margarinsäure, oder die Zersetzungsprodukte derselben (Fett- bis Bernsteinsäure) über; durch Fäulniss und Oxydation mit rauchender Salpetersäure liefert sie die Säure der Gruppe $C_{2n}\,H_{(2n-1)}\,O_3$; HO namentlich von dem Gliede $C_{20}\,H_{19}\,O_3$; HO (Caprinsäure) an.

Sie erscheint frei, oder mit Na O und K O (als Seife) oder mit Lipyloxyd (als Olein), verbunden andern Fetten beigemengt.

Ihre physiologische Bedeutung verdankt sie ausser den allen Fetten gemeinsamen Eigenschaften (mangelnde Adhäsion an Wasser, Oxydationsfähigkeit unter Wärmeentwicklung, schlechte Wärmeleitung) besonders noch ihrem flüssigen Aggregatzustand, wodurch sie zum Lösungsmittel solcher Fette sich eignet, welche bei der Temperatur des menschlichen Körpers fest sind.

Sie wird mit den Nahrungsmitteln in den Körper geführt.

---

*) Essigsäure zählt auch zu den organischen Körpern, welche durch Composition unorganischer gebildet werden können, indem das $Cl_2\,O_3\,C_2\,Cl_3$; HO die sogenannte Chlorkohlenoxalsäure künstlich darstellbar ist, aus welcher durch Behandeln mit Kali und Wasser Essigsäure erzeugt werden kann. (Kolbe).

Anhangsweise ist hier die von Gottlieb entdeckte oxydirte Oelsäure $C_{36} H_{32} O_4 HO$ zu erwähnen, in welche sich die gewöhnliche Oelsäure beim Stehen an der Luft umwandelt. In dieser muss eine andre Atomlagerung, als in der gewöhnlichen Oelsäure vorhanden sein, da sie andere Zersetzungsprodukte liefert; sie ist zugleich eine kräftigere Säure als die Oelsäure; über ihre weiteren Eigenschaften fehlen die Nachrichten, was um so mehr zu bedauern ist, als die Annahme gerechtfertigt erscheint, dass die im Thierleib vorkommende Oelsäure grösstentheils oxydirte sein dürfte.

18. Anthropinsäure (Heintz) $C_{34} H_{31} O_3$; HO?

Eine krystallinische Substanz; ihr Schmelzpunkt liegt bei 56°. Ihre Zersetzung noch nicht studirt. — Kommt im Anthropin des Menschenfettes vor. Ihre Analogie in der Zusammensetzung mit Oelsäure ist einleuchtend.

19. Neutrale Fette. Von den bekannten neutralen Fetten kommen im menschlichen Organismus vorzugsweise zwei, das Margarin und Olein in geringem Maasse, aber auch Stearophanin, Palmitin, Anthropin (Heintz) vor.

Die Zahl und Lagerung der Atome in diesen Stoffen ist unbekannt; jedoch nicht ohne Grund darf man vermuthen, dass in ihnen die fetten Säuren Margarinsäure (im Margarin) und Oelsäure (im Olein) vorgebildet enthalten seien.

Bisher nimmt man an, dass diese neutralen Fette Verbindungen der entsprechenden fetten Säuren mit einem besonderen Atomcomplex $C_3 H_2 O$ darstellen. Zu diesem Schluss berechtigt die Analogie mit Stearin. Wenn man diesen wie man glaubt rein darzustellenden Stoff mit Kali in Berührung bringt, so zerfällt das Stearin in Stearinsäure, welche sich mit dem Kali verbindet, und in Oelsüss, welches ausgeschieden wird. Addirt man aber das Gewicht des ausgeschiedenen Oelsüsses zu dem der mit dem Kali verbundenen Säure, so findet man, dass diese Gewichts-Summe grösser ausfällt, als die Schwere des zersetzten Stearins beträgt; da nun keine Reaktion eintritt, welche auf eine Aufnahme anderer Stoffe schliessen liesse, so ist die Gewichtsvermehrung nur dadurch möglich, dass von dem aus dem Stearin ausgeschiedenen Körpern Wasser aufgenommen wurde. In der That genügt nun die Gewichtsvermehrung der Annahme, dass 2 Atome des Körpers $C_3 H_2 O = C_6 H_4 O_2$, 4 Atome Wasser aufnehmen, wodurch er sich in 1 Atom Oelsüss $= C_6 H_8 O_6$ umwandelt. Diese Erläuterung trug man auch auf die durch KO vorgehende Zersetzung des Olein und Margarin u. s. w., welche man bisher noch nicht rein darzustellen vermochte, über. Der ganzen Betrachtung wurde aber durch die neuen Untersuchungen von Ärzbacher *) der Boden entzogen, indem er zeigte, dass die aus der Elementaranalyse verschiedener Stearinsorten gewonnenen Zahlen weder für die Formel $[C_{68} H_{66} O_5 . HO . C_3 H_2 O,]$ noch für $[C_{34} H_{33} O_3 . C_3 H_2 O.]$ passen, indem das Stearin aus Hammelstalg eine andere Zusammensetzung als das aus Ochsentalg besitzt. — Wenn durch neue Untersuchung die alte Ansicht aufrecht erhalten werden sollte, so würde man die neutralen Fette den Aetherarten vergleichen dürfen, wie denn in der That die künstlich dargestellten Verbindungen der Fette mit Aether die grösste Aehnlichkeit mit neutralen Fetten besitzen.

Die Eigenschaften, vermöge deren die neutralen Fette den Lebensprocess unterstützen, sind sehr mannigfaltig.

a) Sie leiten katalytische Umsetzungen ein; ein im Thiere vorkommender Gährungsprozess, die Umwandlung des Zuckers in Milch-

*) Liebig's Annalen 70. — Laurent u. Gerhardt compt. rend. des travaux d. chim. 1849. 343.

säure, soll nach Lehmann nur unter gleichzeitiger Mitwirkung der Fette und eiweissartigen Körper geschehen können; ebenso sollen sie durch ihre Gegenwart die Verdauung der eiweissartigen Stoffe im Magen unterstützen.

b) Bei diesen Umsetzungen erleiden sie selbst eine Zerlegung in Glycerin (Oelsüss) und die entsprechende Fettsäure; da diese beiden Stoffe aber nach Redtenbacher durch die Katalyse selbst allmälig in CO_2 und HO verwandelt werden, so liefern sie ein verbrennliches Material, das bei seiner Oxydation grosse Mengen von Wärme bildet.

c) Von diesem Gesichtspunkt aus erscheint ihre chemische Indifferenz von Bedeutung; hierdurch wird es nämlich möglich, grosse Massen von Fetten im Organismus ohne Störung anderer, dem Leben nothwendiger chemischer Prozesse anzuhäufen, Massen, die angesammeltem Brennmaterial zu vergleichen sind.

d) Vermöge der mangelnden Adhäsion an Wasser sind sie im Stande 1) Tropfen zu bilden, welche möglicher Weise die Zellenbildung unterstützen (Ascherson), und 2) stellen sie Gewebe dar, welche an der Umsetzung und Diffussion in benachbarten wässerigen Gebilden keinen Theil nehmen; sie leisten demgemäss als constante Ventile, Druckvertheiler und dergl. wichtige Dienste.

e) Da das leicht crystallisirende Margarin im Gemenge mit Olein sein Crystallisationsvermögen einbüsst (Redtenbacher), so ist die Mischung beider Fette geeignet, an der Bildung mannigfach geformter Gewebe Theil zu nehmen.

f) Da in den Seifen die Fette auflöslich sind, und die Seifen wiederum im Wasser löslich, so geben die Seifen ein Mittel ab, um den Durchtritt der Fette durch Membranen, die mit Wasser getränkt sind, zu ermöglichen.

g) Ihr geringes Wärmeleitungsvermögen ist im Stande, die Wärmezerstreuung des thierischen Körpers zu hindern, wenn die auf der Haut angebrachten Wärmeregulatoren (Schweissdrüsen, Horngebilde, glatte Hautmuskeln) nicht mehr hinreichen, die Ausgleichung der Temperaturdifferenzen zwischen dem thierischen Körper und der Aussenwelt zu verhindern (Bergmann); bemerkenswerth ist darum die Ablagerung der Fette in den Unterhautzellgeweben und namentlich in den Fusssohlen.

Nach Angaben von Reisenden, welche Gelegenheit hatten Sektionen verstorbener Polarländer zu unternehmen, soll das einzige Fettlager derselben in dem panniculus adiposus sein, eine Thatsache, mit welcher sich die Angabe von E. H. Weber in Uebereinstimmung findet, dass bei Seehunden alles Fett im Unterhautzellgewebe liege.

h) Wegen ihrer Adhäsion zu den Horngeweben, und ihrer Fähigkeit, diesen Geweben durch ihr Eindringen in dieselben die Sprödigkeit zu nehmen, sind sie als Erhaltungsmittel der Haare angewendet. Da

sie in der Luft nicht verdunsten, so eignen sie sich vorzugsweise zur Lösung dieser Aufgabe.

Unzweifelhaft sind mit diesen die Angaben über ihre Funktionen nicht erschöpft. Denn wenn es auch zweifelhaft ist, ob sie durch ihr geringes spezifisches Gewicht als Ausfüllungsmassen der Knochen u. s. w. bedeutend sind, so weist doch ihre Betheiligung an der Gallenabsonderung, an dem Nervenmark u s. w. unzweifelhaft noch auf wichtige uns unbekannte Verrichtungen hin. —

Die Fette werden vom Menschen grösstentheils als solche aufgenommen; zum Theil dürften sie auch aus andern Nahrungsmitteln gebildet werden. Ob aus Amylon der Nahrung oder wachsartigen Bestandtheilen derselben ist noch ungewiss.

20. Oleophosphorsäure; (Fremy). In Verbindung mit Kalien ein Bestandtheil des Hirns; sie zerfällt in Olein und Phosphorsäure, lässt sich aber nicht künstlich durch Zusammenbringen beider darstellen.

21. Cholestearin; Bestandtheile des Bluts, Galle, Eiters, Hirnfettes.

Die Zusammensetzung des wasserfreien wird nach den Resultaten der Elementaranalyse am einfachsten ausgedrückt durch $C_{28}\ H_{24}\ O$ die des aus Alkohol crystallisirten nach Heintz*) durch $C_{28}\ H_{24}\ O + H\ O$.

Seine Zersetzungen geben über die Atomlagerung keinen Aufschluss. —

Seine physiologische Bedeutung und Entstehung sind unbekannt. — Jedenfalls muss es im thierischen Körper entstehen, da es niemals als Bestandtheil der Pflanzen auftritt.

22. Lecithin (Gobley) eine phosphorhaltige fettartige Substanz, in den Fetten des Bluts und der Eier enthalten. In Säuren, Alkalien, Wasser und Alkohol zerfällt es ohne Beihilfe der Luft in Oleinsäure, Margarinsäure, Phosphoglycerinsäure.

23. Cerebrin (Gobley); in den Blutfetten. Ein neutraler stickstoff- und phosphorhaltiger fettähnlicher Körper, der im warmen Wasser aufquillt.

24. Glycerin, Oelsüss. $C_6\ H_7\ O_5; H\ O$. Wir vermuthen, dass der freie Glycerin als Umsetzungsprodukt der fetten Säuren (bei der Verseifung und Gährung derselben) im Thierkörper vorkomme; ausserdem erscheint es nach Gobley in den Hirnfetten in der Glycerinphosphorsäure $=$ Gl, Pho_5; 2 H O.

Seine Zersetzungen sind mannigfaltig, durch Gährung geht dasselbe in Propionsäure [$(C_4 H_6)\ C_2 HO_3$; HO], durch Oxydation mit Chlor in Ameisensäure, durch NO_5 in Oxalsäure, Kohlensäure und Wasser, durch trockne Destillation in Acrolein über. — Von diesen Umsetzungen dürfte nur die erste für den Physiologen von Bedeutung sein. —

Gelangt mit den Fetten (als Lipyloxyd?) in den Organismus; die Glycerinphosphorsäure auch als solche beim Genuss von Eidotter.

25. Zuckerarten. Man beobachtet im thierischen Organismus den Milch-, Trauben- und Muskelzucker.

---

*) Poggendorf Annalen LXXIX. 524.

A. Milchzucker = $C_{12} H_{10} O_{10}$; 2 Aq (im crystallinischen Zustand). Er findet sich in der Frauenmilch.

Von den sehr zahlreichen Umsetzungserscheinungen, welche bekannt sind, dürften, da sie noch zu keiner Vorstellung über die Atomlagerung geführt haben, nur folgende für den Physiologen interessant sein. — Auf katalytischem Wege ändert er sich unter dem Einfluss verdünnter SO_3 in Traubenzucker um; bei Gegenwart von Casein, Fetten und $NaOCO_2$ geht er in Milchsäure über; durch gewöhnliche Hefe entwickelt sich allmälig Alkoholgährung. — Mit SO_3 und chromsaurem Kali erwärmt bildet er das Aldehyd der Essigsäure [$(C_2 H_2) H C_2 O$; HO] und Ameisensäure. Mit Kalkhydrat erwärmt, bildet sich neben andern Produkten essigsaurer Kalk.

Mit den Nahrungsmitteln und namentlich der Milch wird er aufgenommen. Sein Vorkommen in der Frauenmilch ist unabhängig von der Art der Nahrungsmittel, da ihn Bensch auch beim Genuss reiner Fleischspeisen vorfand. Er muss sich also aus andern Substanzen im Thierkörper bilden können.

B. Traubenzucker, Harnzucker = $C_{12} H_{12} O_{12} + 2$ aq. (crystallisirt). Im Darmkanal während der Verdauung des Amylons; im Blut, vorzüglich im Blut der Lebervene; im Chylus; im Lebergewebe. Im Harn nach mehlhaltiger Nahrung?

Unter seinen zahlreichen Zersetzungen erregen Interesse: — 1.) *) Die Gährungen, und zwar a) Alkoholgährung. Ihre Produkte sind Aethylalkohol, CO_2, Bernsteinsäure, Mannit? und zuweilen Amylalcohol; Bedingungen ihres Eintritts resp. ihrer Unterhaltung, bestehen in Gegenwart von 4 — 10 Thl. aq., einer Temperatur von 4 — 30° R. und eines sogenannten Ferments, und im Momente des Eintritts, im Vorhandensein einer geringen Menge von O. — Die Fermente sollten, wie man glaubte, nur dann wirksam sein, wenn sie in Form sogenannter Hefenpilze aufträten; durch Untersuchungen von Struve, Döpping, Mulder und Schmidt, Schleiden, Karsten ist das Gegentheil erwiesen. Sehr bemerkenswerth ist es, dass durch sog. Gifte, Quecksilber, Arsenik, Kupfersalze, Kleesäure, schwefliche Säure, Blausäure, kaustische Kalien die Gährung unterbrochen wird. — b) Schleimige Gährung. Wässerige Zuckerlösung mit einer Abkochung von Alcoholhefe versetzt, entwickelt bei einer Temperatur von 24 — 30° R. H und Co_2 im Verhältnisse von 1 : 2; es bleibt neben Milchsäure ein schleimiger Körper zurück, der aus Mannit ($C_8 H_9 O_8$) und Gummi besteht. — c) Milchsäuregährung bei gleichzeitiger Gegenwart von Eiweiss, Käsestoff, neutralen Fetten, und kohlensauren Alkalien setzt sich der Traubenzucker, in einer Temperatur von 15 — 38° C in Milchsäure und Wasser und zu einem kleinen Theil in Mannit um. — 2.) Mit schmelzendem Kali behandelt, liefert er Essig-, Propion-, Ameisen-, Oxal-, Kohlensäure und Wasserstoff. — Mit Cl mischung erhitzt gibt er Chloral, Ameisensäure und ein chlorhaltiges Oel.

Mit den Nahrungsmitteln wird er aufgenommen; nachweislich bildet er sich aber auch unter dem Einfluss des Speichels und Pankreassaftes aus dem Amylon. Ausser diesen müssen noch andere Quellen seiner Bildung vorhanden sein, da er nach Bernard in der Leber beobachtet wird, selbst wenn die Thiere weder Amylon noch Zucker geniessen.

C. Muskelzucker**) Inosit = $C_{12} H_{12} O_{12} + 4$ Aq (crystallisirt). (Scherer.) In der Flüssigkeit des Herzmuskels.

---

*) Liebig Art. Gährung im Handwörtb. d. Chemie. III. Bd.

**) Scherer. Eine neue Zuckerart. Verhandlungen der physikalisch-medizinischen Gesellschaft in Würzburg. I. Bd. p. 51 u. Annalen d. Chemie. 1852. Märzheft.

Von seinen Zersetzungen ist nur bekannt, dass er nicht in die weingeistige, wohl aber in die milchsaure Gährung übergeht.

Seine Quelle ist unbekannt.

Physiologische Bedeutung der Zuckerarten. — Bei ihrer Leichtlöslichkeit im Wasser und ihrer Neigung zur Crystallisation eignen sie sich nicht zur Gewebebildung. Sie können darum nur durch ihre Verwandtschaften das Leben unterstützen; so weit bekannt leisten sie dieses vorzugsweise durch ihre näheren und entfernteren Umsetzungsprodukte und namentlich durch ihre Umsetzung in Milchsäure (siehe diese) und aus dieser in Buttersäure. Ob innerhalb des Organismus der Zucker auch in die hohen Glieder der $C_{2n}H_{(2n-1)}O_3$; HO Gruppe übergeht, steht noch dahin.—Jedenfalls liefern die im Zucker enthaltenen C und H Atome schliesslich CO_2 und HO. Man kann dieses mit Sicherheit behaupten, weil kein Excretionsorgan Zucker oder irgend ein anderes Zersetzungsprodukt desselben aus dem Organismus ausstösst. Bei diesem Uebergang entwickeln sie eine beträchtliche Menge von Wärme, die den thierischen Funktionen zu Gute kommt.

26) Milchsäurehydrate. $C_6H_5O_5$; HO.

Im menschlichen Körper erscheinen 2 Hydrate der Milchsäure, die sich durch einen verschiedenen Crystallwassergehalt ihrer Salze unterscheiden: a Milchsäure ist ein Bestandtheil der Flüssigkeit des angestrengten Muskels (Berzelius. du Bois-Reymond). b Milchsäure dagegen, wahrscheinlich die, welche sich normal im Magensaft, als milchsaures Eisenoxyd in der Milz (Scherer) und in allen Absonderungen bei der Zuckerdyskrasie (Diabetes mellitus) findet.

Die Atomlagerung in der b Milchsäure ist nach Strecker wahrscheinlich $(C_4H_4O_2)$ C_2HO_3; HO d. h. eine mit dem Aldehyd der Essigsäure gepaarte Ameisensäure. — Die Gründe, die hierfür sprechen, liegen in der Erscheinung 1) dass milchsaures Kupferoxyd für sich destillirt, ausser einer neuen Säure, Kohlenoxyd, Kohlensäure und auch Aldehyd der Essigsäure liefert; 2) dass die b Milchsäure mit Chlormischung destillirt, Chloral $(C_4Cl_3HO_2)$ d. h. ein Aldehyd liefert, in welchem 3 Atom H durch 3 Atom Cl vertreten sind; 3) dass die b Milchsäure mittelst salpetriger Säure aus einem Stoff, dem Alanin*) $(C_6H_7NO_4)$, gebildet werden kann, welcher aus Aldehyd und Blausäure, unter Aufnahme von 2 Atom Wasser, entsteht. — Aus dieser Annahme erläutern sich freilich die physiologisch höchst wichtigen Umsetzungen nicht, welche die Milchsäure erleidet, wenn sie in ihren alkalischen Verbindungen mit Käsestoff einer Temperatur von 15—30° R. ausgesetzt wird; in diesem Fall verwandelt sie sich nämlich unter Entwicklung von CO_2 und H im Verhältniss von 2 : 3 in Buttersäure.

Vermittelst ihrer Eigenschaft, unter Beihilfe eines besonderen Fermentkörpers, des Pepsins, die im Wasser unlöslichen eiweissartigen

*) Strecker, Liebigs Annalen LXXV. 27.

und leimgebenden Substanzen in lösliche Modifikationen zu verwandeln, soll sie im Magensaft (Lehmann) wichtig werden. Ausserdem gehört sie zu den mannigfachen Säuren, deren kalische Salze im thierischen Körper in kohlensaure umgewandelt werden können, ein Vorgang, durch den sie offenbar zur Wärmeerzeugung im lebenden Wesen beiträgt.

Die Milchsäure wird theils mit den Nahrungsmitteln aufgenommen, theils aus ihnen, und namentlich aus den zuckerhaltigen, gebildet.

Für die Bildung der Milchsäure beim Gähren des äpfelsauren Kalkes, unter Einfluss des Caseins, welche Kohl beobachtete (Pharmazeutisches Centralblatt 1851. I. Bd. p. 384) dürften im menschlichen Organismus die Bedingungen fehlen.

27. Phenylsäure (Kreosot), $C_{12}H_6O$; HO.

28. Taurylsäure $C_{14}H_8O$; HO.

29. Damalursäure $C_{14}H_{11}O_3$; HO.

30. Damolsäure.

Diese 4 Säuren sind von Staedeler *) im Harn in Spuren nachgewiesen. Eigenschaften, durch die sie physiologisch bedeutend würden sind nicht bekannt. Vorerst sind sie nur merkwürdige Zersetzungsprodukte. Man vermuthet, dass die ersten beiden Säuren (Phenyl- und Taurylsäure) aus salizinhaltigen Bestandtheilen der Nahrung, Damalur- und Damolsäure aber aus eiweissartigen Bestandtheilen entstanden sein möchten.

31) Hippursäure. $C_{18}H_8NO_5$; HO. Sie ist spurweise im Blut und ausserdem nach Genuss von Gemüsse, Benzoe- und Zimmtsäure, im Harn aufgefunden.

Ihre Atomlagerung kann ausgedrückt werden, entweder durch $(C_4H_3NO_2)\widehat{C_{14}H_5O_3}$; HO, d. h. durch Benzoesäure, welche mit einer Atomgruppe gepaart ist, die sich durch 2 Atome aq. vom Glycocoll unterscheidet. Zu dieser Aufstellung wird man geführt, weil Hippursäure unter dem Einfluss mineralischer Säuren in Glycocoll und Benzoesäure zerfällt, und weil nach dem Genuss von Benzoesäure ein der genossenen Menge entsprechendes Gewicht Hippursäure im Harn beobachtet wird; man ist geneigt anzunehmen, dass jene Benzoesäure auf ihrem Wege durch den thierischen Körper sich mit dem Atomcomplex $C_4H_3NO_2$ verbunden habe, weil dieser schon im thierischen Körper beobachtet ist; ausserdem entwickeln noch zahlreiche Einflüsse, z. B. trockne Destillation, Bleihyperoxyd, die Fäulniss aus ihr Benzoesäure. — Oder man kann in ihr die Atomstellung durch $(NH_2)\widehat{C_{18}H_6O_5}$; HO ausdrücken, da sie sich unter dem Einfluss von salpetriger Säure (NO_3) in N, HO und $C_{18}H_7O_7$; HO, ähnlich der sogenannten Amidsäure spaltet (Strecker).

Ihre physiologische Bedeutung ist unbekannt. Sie muss innerhalb des Thierkörpers entstehen, da sie niemals als Nahrung genossen wird. Die Entdeckung, dass sie im Harn nach Aufnahme von Benzoe- und

*) Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. 1850. — Lieb. Annalen 1850.

Zimmtsäure erscheint, verspricht für den Stoffumsatz von grossem Interesse zu werden.

Benzoesäure, welche man früher als Harnbestandtheil annahm, ist in diesem nur als Zersetzungsprodukt der Hippursäure anzusehen, da sie niemals im frischen, sondern nur im faulenden Harn vorkommt.

32. Glycocholsäure (Cholsäure, Strecker). $C_{52}H_{42}NO_{11}$; HO. Die Natronverbindung derselben ist ein wesentlicher Bestandtheil der Galle. Strecker betrachtet dieselbe als $(C_4H_3NO_2)\widehat{C_{48}H_{39}O_9}$; HO.

Die Zersetzungserscheinungen, welche diese Vorstellung begründen, sind; durch kochendes Kali und Fäulniss zerfällt unter Wasseraufnahme die Glycocholsäure in Glycocoll ($C_4H_5NO_3$) und Cholsäure (Cholalsäure von Strecker) $C_{48}H_{39}O_9$; HO. — Durch kochende Mineralsäure in Choloidinsäure $C_{48}H_{39}O_9$ (eine im freien Zustand wasserfreie Säure) und Glycocoll.

Eine besondere Untersuchung über ihre physiologischen Eigenschaften fehlt; die Säure wird implizite bei der Galle erwähnt werden; vollkommen unbekannt ist ihre Entstehung; die zahlreichen Hypothesen, welche man über diese aufstellte, sind vorerst noch haltlos.

33. Taurocholsäure (Choleinsäure, Strecker). Ein Gallenbestandtheil. Obgleich diese Säure nicht rein dargestellt ist, so lässt sich doch behaupten, dass ihre Zusammensetzung durch $C_{52}H_{44}NO_{13}S_2$; HO und ihre moleculare Constitution durch $(C_4H_5NO_4S_2)\widehat{C_{48}G_{39}O_9}$; HO ausgedrückt werde.

Entfernt man aus der crystallisirten Galle des Ochsen, die der menschlichen ziemlich gleichartig ist) möglichst alle Glycocholsäure und behandelt den schwefelhaltigen Rückstand mit KO oder Säuren, so zerfällt er in Taurin ($C_4\ H_7\ N\ O_6\ S_2$), Glycocoll und Cholsäure; dieser Rückstand besteht demnach aus Cholsäure, welche zum Theil mit einem dem Glycocoll, zum andern Theil mit einem dem Taurin ähnlichen Atomcomplex gepaart ist. Macht man nun die der Analogie mit der Glycocholsäure wegen wahrscheinliche Voraussetzung, dass in der Taurocholsäure ebenfalls Taurin weniger 2 Atom Wasser als Paarling der Cholsäure auftrete, bestimmt man dann den S-Gehalt des Gemenges, so kann man aus demselben den Gewichtsantheil der hypothetischen Taurocholsäure berechnen, und hieraus den Wasserstoffgehalt des Gemenges; dieser hypothetische Wasserstoffgehalt kann dann durch eine direkte Bestimmung controllirt werden, eine Bestimmung, welche in der That die Schlusskette bestätigt hat.

Hier verdienen nun die secundären Umsetzungsprodukte der Gallensäuren, nämlich das Taurin, Glycin und die Cholsäure, noch eine kurze Betrachtung, weil dieselben — im Darmkanal — als Folge der Gallenumsetzung erscheinen und weil die Aufhellung der chemischen Constitution der Cholsäure nothwendige Bedingung für das Verständniss der Gallenbildung zu sein scheint.

a) Taurin, $C_4\ H_7\ N\ O_6\ S_2$, zerfällt durch Gährung (in Gegenwart von Gallenschleim und doppelkohlensaurem Natron)*) und durch schmelzendes KO in Ammoniak, Essigsäure und schwefelige Säure. — Redtenbacher glaubt darum, das Taurin als ein schwefligsaures Aldehyd-Ammoniak ansehen zu dürfen. Dieser Körper hat

*) Buchner, Ueber einige neue Gährungs- und Verwesungserscheinungen. Liebigs Annalen LXXVIII.

aber ganz andere Eigenschaften als das Taurin, und es müssen darum in diesem die Atome doch anders enthalten sein als in jenem.

b) Glycocoll $C_4 H_5 N O_4$. Es zerfällt durch Gährung in Ammoniak und andere nicht näher untersuchte Bestandtheile, und ausserdem je nach Umständen in so mannigfaltige von einander abweichende Produkte, dass sie noch zu keiner haltbaren Hypothese der Atomlagerung geführt haben.

c) Cholsäure $C_{18} H_{39} O_9$; HO. Der Einwirkung der Fäulniss oder kochenden Mineralsäuren ausgesetzt, verwandelt sie sich unter Abgabe von HO in harzartige Stoffe, als deren schliesslicher Dyslysin ($C_{18} H_{36} O_6$) angesehen wird. Die zwischen Cholsäure und Dyslysin in der Mitte liegenden Produkte sind noch nicht ermittelt. Demarcay und Strecker halten sie für Choloidin-, Berzelius und Mulder für Cholin- und Fellinsäure — Diese harzartigen Körper und namentlich die sogenannte Choloidinsäure gibt mit NO_5 gekocht nach Redtenbacher flüchtige Fettsäuren $C^{2n} H_{(2n-1)} O_3$; HO und eine grössere Zahl anderer complizirter Produkte. Lehmann gibt an, auch die Säuren der Bernsteinsäuregruppe mit Ausnahme der Sebacylsäure durch Destillation der Cholsäure erhalten zu haben. — Die aus diesen Thatsachen geschehene Folgerung, dass die gegliederte Formel der Cholsäure $(C_{12} H_6 O_6)\widehat{(}C_{36} H_{33} O_3$; HO sei, d. h. eine mit einem sogen. Kohlenhydrat gepaarte Oelsäure, ist so gewagt, dass sie durch die Angabe: Lebervenenblut enthalte weniger ölige Fette als das Pfortaderblut u. dergl. noch nicht einmal den Schein der Wahrscheinlichkeit annimmt.

34. Harnsäure. $C_5 H N_2 O_2$; HO theils frei, vorzugsweise als harnsaures Natron und Ammoniak im Harn, Blut (Schweiss?) und nach Scherer*) im Milzextrakt.

Ihre bisher bekannt gewordenen Zersetzungen führen noch auf keine Vorstellung der Atomlagerung in ihr.

Für den Physiologen ist es bemerkenswerth, dass sie durch gelinde Oxydationsmittel in Atomgruppen zerfällt werden kann, welche für sich wieder Bestandtheile des thierischen Organismus sind. So verwandelt sie sich mit Wasser und Bleisuperoxyd gekocht in Allantoin, Harnstoff, Kleesäure, Kohlensäure (Liebig und Wöhler) oder in Allantoin, Allantursäure, Kleesäure, Kohlensäure und Spuren von Harnstoff (Pelouze). — Aehnliches bewirkt übermangansaures Kali (Gregory). — Durch chlorsaures Kali und Salzsäure zerfällt sie in Alloxan und Harnstoff (Schlieper). — Durch Kaliumeisencyanid und Kali in Allantoin und Kohlensäure (Schlieper).

Ihre Neigung zur Crystallisation macht es ihr unmöglich Antheil an Gewebsbildungen zu nehmen; vermöge der Schwerlöslichkeit der freien Säure sowohl, als der sauren Salze (welche vorzugsweise vorkommen), wird ihre Anhäufung im thierischen Körper gefährlich. — Man darf vermuthen, dass sie innerhalb des Blutes einen Umsetzungsprozess erleidet, zu dessen Produkten Harnstoff und Kleesäure zu zählen sind; nach dem Genuss von Harnsäure vermehrt sich nemlich der Gehalt des Urins an Harnstoff und Kleesäure.

---

*) Liebig's Annalen 73. p. 330.

Da Harnsäure kein Nahrungsbestandtheil ist, so muss sie im Thierleib gebildet werden. Wie ist unbekannt.

Anhangsweise ist hier zu erwähnen:

35. Harnigesäure $C_5 H_2 N_2 O_2$. Zuweilen in Harnsteinen gefunden. Da man ihr Atomgewicht nicht aus Verbindungen bestimmt und ihre Zersetzungsprodukte nicht untersucht hat, so muss die Hypothese, welcher sie den Namen verdankt, noch als sehr unsicher betrachtet werden.

36. Hypoxanthin*) $C_5H_2N_2O$ (Scherer). In dem Herzmuskel und im Milzextract. Sein gleichzeitiges Vorkommen mit Harnsäure im Milzextrakt erscheint bei der Aehnlichkeit der Zusammensetzung beider sehr bedeutungsvoll.

37. Allantoin $C_4 H_3 N_2 O_3$. Schlieper. In der Amnios- und Allantoisflüssigkeit. Im Harn säugender Wiederkäuer. Ueber Bildung und rationelle Constitution fehlt eine Vorstellung.

38. Inosinsäure. $C_{10} H_6 N_2 O_{10}$; HO (Liebig). In der Flüssigkeit der Muskeln. Ueber Zersetzung, Bildung, Atomlagerung u. s. w. derselben ist nichts bekannt.

39. Cerebrinsäure. In 100 Theilen $C_{66,7} H_{10,6} N_{2,3} Ph_{0,9} O_{19,5}$ (Fremy). Die Prozentzahlen führen zu keiner Formel. Sie ist ein Bestandtheil des Hirns.

40. Kreatin. $C_8H_9N_3O_4 + 2Aq$. In der Flüssigkeit angestrengter Muskeln und im Harn (Liebig).

Durch Kochen in starken Säuren und durch Fäulniss in Kreatinin verwandelt. Mit Barytwasser gekocht in Sarcosin ($C_6H_7NO_4$) und Harnstoff umgesetzt.

Ist durch seine neutrale Eigenschaft ein unschädliches Umsezzungsprodukt der Muskelsubstanz.

41. Kreatinin $C_8H_7N_3O_2$. In den Muskeln und dem Harn (Liebig). Aus seiner Chlorzinkverbindung abgeschieden, verwandelt es sich in Kreatin (Heintz). Ist ein Zersetzungsprodukt der Muskeln.

42. Harnstoff $C_2H_4N_2O_2$. Im Harn, Blut, humor aqueus bulbi.

Seine Salzverbindungen und Umsetzungen führen auf die Annahme, dass er eine gepaarte Ammoniakverbindung sei $(C_2HNO_2)\widehat{NH_3}$.

Denn bei seiner Verbindung mit Sauerstoffsäuren nimmt er noch 1 Aeq. Wasser auf. Nach Wurtz**) gelingt es, Harnstoffe darzustellen, in welchen 1 oder 2 Atom Wasserstoff durch Aethyl, Amyl, Methyl etc. vertreten sind, wie dies auch beim Ammoniak geschieht. Ferner durch Fäulniss, verdünnte Säuren und Alkalien geht er unter Wasseraufnahme in Kohlensäure und Ammoniak über.

Wegen seiner Leichtlöslichkeit eignet er sich nicht zum Gewebsbestandtheil. Er stellt das Produkt dar, durch welches vorzugsweise die stickstoffhaltigen Bestandtheile der Nahrungsmittel aus dem Thierkörper wieder ausgeschieden werden. Unter diesem Gesichtspunkt erhält seine chemische Indifferenz gegen die wesentlichen Bestandtheile des Thier-

*) Scherer, Liebigs Annalen 73. p. 328.
**) Compt. rend. Tom. XXXII. 414.

körpers und seine Zerfliesslichkeit eine besondere Bedeutung, indem diese Eigenschaft seine Anhäufung in den Organen in gewöhnlichen Verhältnissen unmöglich, und, sollte sie auch einmal eintreten, unschädlich macht. — Durch seine Eigenschaft, bei Gegenwart von Wasser und Fermenten in kohlensaures Ammoniak umgewandelt zu werden, bedingt er häufig einen Ammoniakgehalt des Urins.

Der Harnstoff ist kein Nahrungsmittel; er bildet sich nachweisslich zu jeder Zeit in dem Thierkörper und zwar besonders reichlich 1) nach Muskelanstrengungen, selbst wenn lange Zeit vorher keine Nahrungsmittel aufgenommen wurden; — 2) nach Genuss von Fleischspeisen, Glycocoll, Alloxantin, Thein, Harnsäure, auch ohne besondere Muskelanstrengungen.

43. Cystin $C_6 H_6 N O_4 S_2$. Im Harn. Seine physiologisch wichtigen Eigenschaften sind unbekannt.

44. Lienin. In der Milz; dasselbe enthält in 100 Theilen $C_{53\cdot71}$ $H_{8\cdot95} N_{4\cdot82} O_{32\cdot52}$ (Scherer*). Ausserdem ist von diesem Stoffe nichts bekannt.

45. Farbstoffe. Keiner der thierischen Farbstoffe hat eine der Schwierigkeit des Gegenstandes entsprechende Untersuchung gefunden.

A. Haematin. Man unterscheidet zwei Modifikationen, amorphes und crystallinisches. Das amorphe selbst ist entweder in Wasser lösliches (natürliches) oder unlösliches (Gmelin'sches) Hämatin. In wie weit beide identisch sind, lässt sich nicht angeben, da das natürliche — wie es im Blute vorkommt — nicht rein dargestellt werden kann. Das amorphe unlösliche Hämatin, das man aus den Blutkörperchen gewinnt, soll nach Mulder aus $C_{44} H_{22} N_3 O_6 Fe$ zusammengesetzt sein; er gründet seine Annahme auf die Zahlen der prozentischen Zusammensetzung und auf die sonderbare Zersetzungserscheinung, dass Schwefelsäure dem Hämatin unter Wasserzersetzung das Eisen entzieht ohne dem übrigen Atomcomplex auch nur die geringste Veränderung zuzufügen.

Das crystallinische Hämatin hält man entweder für Crystalle irgend welches Stoffes, die durch einen rothen amorphen Farbestoff verunreinigt sind, oder für wirkliche Farbstoffcrystalle; die Entscheidung würde nur durch die Analyse gegeben werden können. Leider ist sie, wegen der geringen Menge crystallinischer Substanz, welche man erhalten kann, nicht ausführbar; nach den Versuchen von Virchow**) ist es aber wenigstens nicht mehr unwahrscheinlich, dass sie aus Farbstoffcrystallen besteht. Alle anderen Kenntnisse fehlen.

B. Pigmentum nigrum. Melanin. Erscheint ebenfalls amorph und crystallinisch. Die verschiedenen Analysen, die über diesen Stoff vorliegen, machen es wahrscheinlich, dass das, was wir schwarzen Farbstoff nennen, ein Gemenge sehr verschiedener Substanzen ist. Die Analysen stimmen in keiner Weise. (Siehe die Litteratur bei Virchow, patholog. Pigmente. Dessen Archiv p. 434 u. f.) Ueber seine physiologische Bedeutung siehe bei der Spiegelung im Auge.

C. Gallenfarbstoff und zwar: a) Biliverdin nach Scherer in 100 Theilen $C_{67/4} H_{7/7} N_{6/7} O_{18/2}$. Ausserdem b) Bilifulvin***), c) Cholepyrrhin etc.

*) Verhandlungen der physikal.-medizinischen Gesellschaft in Würzburg II. Bd. 298.
**) Ueber pathologische Pigmente in Virchow's Archiv. 1. Bd.
***) Virchow, Liebigs Annalen 78. Bd.

D. Harnfarbstoff. Nach Scherer*) ein Gemenge verschiedener Stoffe.

46. Eiweissartige Stoffe. Unter den Bestandtheilen des menschlichen Körpers finden sich aus dieser grossen Gruppe:

A. Eiweiss, Albumin. In 100 Theilen enthält es $C_{53\cdot4}\,H_{7\cdot1}\,N_{15\cdot6}\,O_{22\cdot3}\,S_{1\cdot3}\,Ph_{0\cdot3}$. — Die Gegenwart des Phosphors ist bestritten**). Mit ihm kommt meist phosphorsaurer Kalk zu 1,8—2,51 pCt. verbunden vor. Man kennt drei isomere (?) Modificationen desselben. 1) Gerinnbares Eiweiss. Bestandtheil der Säfte aller Organe, des Bluts, des Chylus, der Lymphe, Pankreasflüssigkeit, des Samens und der Milch (?). — In allen andern Flüssigkeiten häufig pathologisch. 2) Paralbumen (Scherer***) in der Flüssigkeit hydropischer Ovarien. 3) Geronnenes Eiweiss; ist nur als Nahrungsmittel von Bedeutung; in unsern Organen und Säften noch nicht beobachtet.

B. Faserstoff. In 100 Theilen $C_{52\cdot6}\,H_{6\cdot9}\,N_{15\cdot5}\,O_{23\cdot6}\,S_{1\cdot04}\,Ph_{0\cdot3}$. Enthält 0,7 — 2,5 pCt. Asche aus phosphorsaurem und kohlensaurem Kalk. — Man unterscheidet an isomeren Modificationen: 1) flüssigen Faserstoff; Bestandtheil des lebenden Blutes und der Muskeln (?); 2) geronnenen Faserstoff und zwar a) rasch geronnenen, dieser selbst ist wieder verschieden in seinen Eigenschaften, je nachdem er aus den Venen, oder den Arterien genommen, oder der aus beiden im Gemenge genommene gekocht war; b) langsam gerinnenden, oder molekular gerinnenden Faserstoff.

Ueber die Formen, welche der geronnene Faserstoff annimmt, sind die Meinungen getheilt. 1) Das zusammenhängendgerinnende Fibrin†). Um die Entwicklung der bei dem Festwerden auftretenden Formen zu beobachten, lässt man am besten nach E. H Weber einen mit einem Glasplättchen bedeckten Blutstropfen an einem vor Erschütterung und Verdunstung gesicherten Ort gerinnen. Nach E. H. Weber sollen nun hier sogleich feine Fasern auftreten, welche ein Netz bilden; nach Virchow dagegen gerinnt das Fibrin zuerst zu einer homogenen Membran, in der erst durch Faltung das Faseransehen entsteht. Nach Henle endlich heben sich aus dem ursprünglich homogenen Gerinnsel Fasern hervor, welche einander in allen Richtungen durchkreuzen; sie mehren sich allmälig so sehr, dass sie die homogene Grundsubstanz an Menge überbieten und charakterisiren sich dann auf verschiedene Weise; die einen sind sehr fein, dehnbar, ästig und netzförmig verflochten; die andern breit, platt, am Ende in kurze steife Stücke zersplittert, zuweilen fein wellenförmig, zuweilen der Länge nach gestreift. Die physikalischen Bedingungen der zusammenhängenden Gerinnung sind auch die des raschen Gerinnens, nämlich Luftzutritt zu dem flüssigen Faserstoff, Armuth der Faserstofflösung an neutralen und alkalischen Natron und Kalisalzen, Gegenwart eines schon geronnenen Faserstoffstückes. — 2) Molekular gerinnendes. Man unterscheidet hier a) die Faserstoffschollen von H. Nasse. Nach Döderlein††) enthalten diese Gebilde keinen

*) Liebigs Annalen 57. Bd.
**) Lieberkühn Poggend. Annall. 86. Bd. 110.
***) Scheerer, pharmaz. Centralblatt 1852. p. 216.
†) Henle, rationelle Pathologie II. Bd. p. 150.
††) Henle l. c.

Faserstoff, da sie nicht faulen. Ueber die Bedingung ihres Entstehens fehlen noch weitere Nachrichten, wenn man der freilich unwahrscheinlichen Angabe von Bruch*) nicht huldigen will, dass sie nichts anderes als Epitheliumsschuppen darstellen, durch welche der unvorsichtige Beobachter das beobachtete Blut verunreinigt. b) Aber auch unzweifelhafter Faserstoff gerinnt oft in feinen Körnchen. Die Bedingung dieser Erscheinung ist nicht allseitig bekannt; man weiss nur, dass Zukker, kohlensaures Natron, Salpeterlösung, welche die Geschwindigkeit der Gerinnung verlangsamen, auch die Bildung molekülärer Gerinnungsformen begünstigen.

Ob der geronnene Faserstoff ein Bestandtheil des normalen Organismus bildet, ist nicht bekannt; in pathologischen Zuständen findet er sich nachweisslich zwar häufig, wahrscheinlich aber nur vorübergehend vor.

C. Proteinbioxyd. In 100 Theilen = $C_{53,5}\,H_{7,2}\,N_{14,5}\,O$ u. $S_{24,7}$. Mit 4 bis 9 pCt. Asche. Man unterscheidet eine in Wasser lösliche und eine in Wasser unlösliche Modifikation. Das lösliche Proteinbioxyd ist ein Bestandtheil der Blutextractivstoffe.

D. Proteintritoxyd. In 100 Theilen = $C_{51,7}\,H_{6,6}\,N_{15,0}\,O$(und S?)$_{26,6}$ nach Mulder im Blut, Eiter und pathologischen Exudatflüssigkeiten. Kann auch durch Kochen aus dem Faserstoff dargestellt werden. Die Angabe von Mulder, dass durch Einleiten von Chlor in Eiweiss und nachfolgende Neutralisation mit Ammoniak ebenfalls Proteintritoxyd erzeugt werden könne, scheint durch Millon widerlegt zu sein.

E. Globulin und Crystallin. In 100 Theilen = $C_{54,5}\,H_{6\cdot9}\,N_{16\cdot5}\,O_{20,9}\,S_{1,2}$. Soll den Inhalt (?) der Blutkörperchen und der Linsenfasern darstellen. Man kennt wiederum eine lösliche und eine unlösliche Modifikation.

F. Casein. In 100 Theilen = $C_{53,8}\,H_{7,1}\,N_{15,6}\,O_{22,6}\,S_{1,0}$. Enthält 4 — 6 pCt. 3 Ca O, Ph O_5. In der Milch, in der Flüssigkeit der glatten Muskelfasern an den Venen- und Arterienhäuten, im Blut.

G. Pyin. In 100 Theilen = $C_{54,8}\,H_{7,2}\,N_{15,3}\,O_{22,5}$. Nach Scherer im Eiter.

Die Zusammensetzung sämmtlicher Eiweissstoffe lässt sich, wie Liebig wiederholt geltend gemacht hat, vorerst nur durch die Prozentzahlen nicht aber durch das Atomgewicht ausdrücken und zwar darum nicht, weil 1) kein Anhaltspunkt für die Berechnung des Atomgewichts aus den Prozentzahlen vorliegt; wählt man bei der Berechnung die einfachste Voraussetzung, die nämlich, dass sich der (Phosphor und) Schwefel mit sämmtlichen Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen in Verbindung findet, so führt eine Abweichung in den Hunderttheilen der Prozente des Schwefels schon zu Aenderungen von mehreren ganzen Zahlen in den Wasserstoffatomen; es kann also unmöglich auf dieses Rechnungsresultat Werth gelegt werden, da die Fehlergrenzen bei der Schwefelbestimmung schon in den Zehntheilen eines Prozents liegen. — 2) Bildet ein eiweissartiger Stoff keine atomistische Verbindung, welche rein darzustellen wäre. Stellte aber in der That, wie Mulder behaup-

*) Bruch in Henle's Zeitschrift 9. Bd.

tet, die Proteinschwefelsäure einen solchen Körper dar, so würde dennoch die aus ihm abgeleitete Formel jetzt unbrauchbar sein, seitdem man erfahren, dass das Protein selbst noch S enthält, welches Mulder als der Schwefelsäure angehörig betrachtet hat.

Noch weniger geeignet zur Berechnung des Aequivalentgewichtes erscheint die von Mulder beschriebene Verbindung des Proteins mit $Cl\ O_3$; es entstehen hier bei längerer Einleitung komplizirte Zersetzungen, und bei kürzer dauernder fehlt wie es scheint, ein Mittel, um den Zeitpunkt zu bestimmen, wann 1 oder 2 Atom $Cl\ O_3$ mit Protein verbunden sind.

Die Gründe, die uns bestimmen, so vielerlei eiweissartige Körper anzunehmen, dürften nicht überall stichhaltig sein. Denn 1) bietet eine Abweichung in der prozentischen Zusammensetzung so lange keine besondere Bürgschaft für eine Verschiedenheit, als uns jedes Mittel fehlt, die Reinheit der analysirten Stoffe zu erweisen. Zudem fallen die Abweichungen zweier Analysen sogenannter verschiedener Stoffe nicht grösser aus als die zweier Analysen desselben Stoffes *). 2) Sind die Abweichungen in den Eigenschaften häufig unbestimmt genug, und oft ist nicht zu ermitteln, ob eine Reactionserscheinung von einer spezifischen Atomgruppe oder der gleichzeitigen Gegenwart oder Abwesenheit anderer nur beigemengter Stoffe herrührt. Derselbe Einwurf dürfte auf die von Schmidt**) zur Nachweisung der Identität benutzte Bestimmung des spezifischen Gewichtes anwendbar sein. Demgemäss kann nun auch die Atomlagerung nicht angegeben werden, und noch weniger, in welchen Beziehungen die Atomlagerung in dem einen Eiweisskörper zu der in einem anderen steht.

Zersetzungserscheinungen von Casein, Fibrin und Albumin. Durch Behandlung mit einer Kalisolution bei einer Temperatur von 50—60° C. entwickelt sich Ammoniak und in Lösung bleibt Schwefelkalium und ein Körper, der noch die wesentlichen Eigenschaften der eiweissartigen Stoffe zeigt (Protein von Mulder in 100 Theilen = $C_{55,0}\ H_{7,0}\ N_{14,7}\ O_{23,0}\ S_{1,3}$). Hierauf stützt Mulder die Annahme, dass Eiweiss eine Verbindung von Protein mit Sulfamid sei, eine Annahme, die durch nichts gerechtfertigt ist. Die Beobachtung ist aber insofern wichtig, als sie zeigt, dass die eiweissartigen Substanzen den Schwefel in zwei Formen gebunden enthalten, von denen die eine Portion durch gewöhnliche Reagentien abscheidbar ist, während die zweite in verdeckter Form mit den übrigen Bestandtheilen verbunden bleibt; und insofern, als aus ihr hervorgeht, dass ohne wesentliche Veränderung der Eigenschaften ein S und N haltiger Körper aus den eiweissartigen Substanzen entfernt werden kann.

Beim Eintragen der eiweissartigen Stoffe in Kali, das in seinem Krystallwasser schmilzt, bildet sich unter Entwicklung von Ammoniak und Wasserstoff Leucin $= C_{12}\ H_{13}\ NO_4$, Tyrosin***) $= C_{16}\ H_9\ NO_5$ (Liebig) und ausserdem eine geringe Menge eines schmierigen Syrups, der verbrannt nach verkohlenden eiweissartigen Stoffen riecht. —

---

*) Dieses fällt besonders auf, wenn man die Zahlen der genauen Analytiker Cahours, Mulder, Scherer, Liebig, Dumas u. s. w. vergleicht.

**) Liebigs Annalen 61. Bd. 156.

***) De la Rue gibt das Tyrosin nach der Formel $C_{18}\ H_{11}\ NO_6$ zusammengesetzt an.

Durch concentrirte Salzsäure oder verdünnte Schwefelsäure zerfallen die eiweissartigen Körper beim Kochen in Leucin, Tyrosin, einen dritten krystallinischen (der wegen geringer Menge noch nicht analysirt ist), und einen braunen flokkigen Körper (Humus von Mulder) und einen süssen (aber nicht gährungsfähigen) schwefelhaltigen, wahrscheinlich sickstofffreien Syrup. —

Durch Einleiten von Cl in Fibrin oder Eiweisslösung erhält man zuerst eine Verbindung der unveränderten Stoffe mit chloriger Säure; lässt man anhaltend das Chlor bei gewöhnlicher Temperatur mehrere Tage lang einwirken, so erhält man Salmiak und in Verbindung mit chloriger Säure einen Körper, aus dem KO keinen Schwefel mehr ausscheidet (Protein?) Uebergiesst man diese letzte Verbindung mit Ammoniak, so erhält man unter N Entwicklung und Salmiakbildung einen Stoff den Mulder Trioxyprotein nennt; nach Millon zeigt er die für eiweissartige Stoffe charakteristische rothe Reaktion auf eine Lösung von Hg in Salpetersäure nicht mehr. — Eiweiss und Faserstoff mit Salpetersäure digerirt verwandelt sich unter Bildung von Stickgas, Stickoxydgas, salpetersaurem Ammoniak, Zuckersäure, und Oxalsäure in die Mulderschе Xanthoproteinsäure *).

Durch Einwirkung von Braunstein oder chromsaurem Kali und Schwefelsäure auf Casein und Eiweiss, bilden sich die Aldehyde der Essigsäure, der Propionsäure, der Buttersäure, Bittermandelöl, ferner Ameisen-, Essig-, Propion-, Butter-, Baldrian-, Capron- und Benzoesäure, Ammoniak und in Gegenwart überschüssiger Schwefelsäure Formo- (Blausäure) und Valeronitril und ein schweres Oel. — Von diesen Zersetzungsprodukten lieferten Casein und Albumin weniger Aldehyd der Essigsäure, und weniger Essigsäure und Ameisensäure als Fibrin; Albumin weniger Aldehyd der Buttersäure, weniger Buttersäure und Valeriansäure als Casein und Fibrin; und Fibrin weniger Bittermandelöl als Casein und Albumin. Diese Zersetzungsprodukte werden wohl sämmtlich secundäre sein, wie wir vermuthen, weil Leucin mit Schwefelsäure destillirt in Valeronitril aus Kohlensäure zerfällt.

Die Eiweissstoffe erleiden noch eine besondere Umsetzung durch Fäulniss. Dieser Akt der sogenannten Selbstzersetzung (der keineswegs den thierischen Stoffen allein eigenthümlich ist,) tritt weder bei allen Modifikationen der eiweissartigen Körper in gleicher Weise noch unter allen Bedingungen auf. — Am leichtesten scheint er in den eiweissartigen Körpern zu erscheinen, welche unmittelbar aus dem lebenden Thiere genommen sind; zu seinem Bestehen ist die Gegenwart von Wasser und eine Temperatur von 0^0 bis $+40^0$ C. nothwendig. Ob er ohne Gegenwart von Luft eingeleitet werden kann, ist Gegenstand des Streites, **) einmal eingeleitet, schreitet er auch nach Luftabschluss weiter fort. — Anwesenheit von concentrirter Salzlösung, verdünnte Lösungen von Metallsalzen, Schwefel-, Salz-, Salpetersäure, viele organischen Säuren z. B. Phenylsäure (Kreosot), Blausäure (?) concentrirte Zucker- und Alkohollösungen etc., verhindern den Eintritt und hemmen das Weiterschreiten der Zersetzung. — Für sich bei Luftzutritt der Zersetzung überlassen zerfallen Faserstoff, Eiweiss und reiner Käse 1.) in eine intensiv riechende krystallinische Substanz, 2.) in ein saures Oel, 3.) in Leucin, 4) in einem syrupartigen Stoff, der durch ClH und SO_3 in Tyrosin und den braunen Stoff zerfällt, welcher auch bei direkter Behandlung der Eiweissstoffe mit Säuren entsteht, 5.) Kohlensäure, 6.) Schwefelwasserstoff. Diese Produkte werden bei weiterschreitender Zersetzung noch zerlegt; so zerfällt unter andern Leucin in Ammoniak- und Baldriansäure und diese wieder in Buttersäure u. s. w. — Die Umsetzungsprodukte der Fäulniss sollen nach Blondeau vollkommen andere werden, wenn die Fäulniss — wie im Rocheforter Käse — bei Gegenwart von Penicillum glaucum vor sich geht; es soll sich hier der Käse in Fett umwandeln***) (?)

*) Eigenthümliche Theorien über diese Säure siehe bei van d. Paut in scheikondige Onderz. 5. Deel.

**) Helmholtz in Müller's Archiv 1843. — Struve u. Döpping. Petersburger akademische Bülletins VI. 145.

***) Blondeau Journ. de pharmac. XII.

Die Versuche von Liebig und Bopp über die Zersetzungen unter dem Einfluss von Säuren, schmelzendem Kali und Fäulniss, und diejenigen von Guckelberger über den Einfluss oxydirender Substanzen machen es wahrscheinlich, dass in den Eiweissstoffen Atomgruppen enthalten seien, die in die Classe der Säuren C_{2n} $H_{(2n-1)}$ O_3; HO und in die Leucingruppe gehören. Die durch diese Arbeit um ein gutes Theil geförderte Aufgabe eine scharfe Vorstellung von den atomistischen Verhältnissen der Eiweissstoffe zu erlangen, wird aber wie begreiflich erst gelösst sein, wenn man das Aequivalentgewicht der Eiweisse, alle primären Zersetzungsprodukte, das gegenseitige Mengenverhältniss und die Lagerung der Atome dieser letzteren selbst kennt.

Die Eiweissstoffe, welche man vorzugsweise die Träger des Lebens nennt, rechtfertigen diesen Namen. Denn

1. In ihrer Zusammensetzung aus einer sehr grossen Zahl von fünf oder sechs Atomarten (C, H, N, O, S, Ph,) liegen die Mittel zum Entstehen sehr vielfacher Zersetzungsprozesse und Zersetzungsprodukte. — Die Prozesse, durch welche die Eiweissstoffe im thierischen Leben zersetzt werden, sind noch sehr wenig bekannt; wir vermuthen, dass neben andern Wegen der Umwandlung auch derjenige der sogenannten Selbstzersetzung und derjenige, welcher durch Alkalien eingeleitet wird, in Anwendung gebracht ist. Diese Vermuthung gründet sich darauf, dass die Bedingungen zu diesen beiden Umsetzungsarten im thierischen Körper gegeben sind; diese Bedingungen müssen aber in manchen Stücken von denen abweichen, unter welchen wir künstlich die sogenannte Selbstzersetzung sowohl als die Zersetzung durch Alkalien hervorrufen, weil es (bis jetzt wenigstens) nicht gelingt, dieselben Umsetzungsprodukte (Leucin, Tyrosin etc.) im Thierkörper zu finden, die man ausserhalb beobachtet. — Die Bestandtheile des thierischen Körpers, welche wir theils mit Sicherheit, theils mit Wahrscheinlichkeit als Zersetzungsprodukte der mit der Nahrung genossenen Eiweissstoffe ansehen, sind: Isomere Modifikationen der ursprünglich aufgenommenen Eiweissstoffe, die Hornsubstanz, das elastische Gewebe, Mucin, Pepsin, Chondrigen Collagen, Tauro- und Glyco-Cholsäure, Lienin, Kreatin, Kreatinin, Harnstoff, Hypoxanthin, Harnige und Harnsäure, Hippursäure, CO_2, HO. Offenbar enthält aber diese Reihe nur einen Theil der in Wirklichkeit im lebenden Säugethier vorkommenden. — Diese Umsetzungen sind nun nicht allein dadurch von Wichtigkeit, dass die mannigfaltigen neugebildeten Stoffe durch ihre physikalischen und chemischen Eigenthümlichkeiten in den Lebensprozess eingreifen, und dadurch, dass durch den Umsetzungsprozess latente Kräfte in freie übergeführt werden, sondern vorzüglich auch durch den Umstand, dass die Zersetzungen der Eiweissstoffe sich auf andere zersetzungsfähige Körper übertragen, eine Uebertragung, die unter dem Namen Katalyse, Gährung, Erregung berühmt geworden ist. Diese Prozesse verlangen zu ihrem Bestehen eine bestimmte Temperatur, die Gegenwart des Wassers und unter Umständen die des Sauerstoffs. Die Umsetzungen, welche die Eiweisstoffe durch Gährung im mensch-

lichen Körper einleiten, sind so weit bekannt: die Umwandlung einer Modifikation eines Eiweissstoffes in eine andere; die der Stärke in Dextrin und Traubenzucker; die des Traubenzuckers in Milchsäure; die der milchsauren Salze in Kohlensäure, Wasserstoffgas und Buttersäure (Dünn- und Dickdarm); die der neutralen Fette in Glycerin und Fettsäuren; die der Gallensäure in Taurin, Glycocoll, Chol- und Choloidinsäure; die des Harnstoffs in kohlensaures Ammoniak, und endlich die vieler organischer Säuren *) in Kohlensäure und Wasser. Zur Einleitung eines jeden dieser mannigfaltigen Prozesse ist es Bedingung, dass ein ganz besonderer eiweissartiger Stoff, der noch dazu in ganz besonderer Zersetzung begriffen ist, vorhanden sei, wie C. Schmidt**) gezeigt hat. Denn das Ferment, welches Zucker zersetzte, konnte keine Harnstoffgährung veranlassen u. s. w. Das Ferment wird, wie es den Stoff, mit dem es in Berührung gebracht ist, umändert, so auch durch diesen in seinem Umsetzungsprozess modifizirt, wie daraus hervorgeht, dass stark in Fäulniss übergegangene Massen, in Zuckerlösung gebracht, ihren fauligen Geruch verlieren, wenn sie Alkoholgährung einleiten. Ausserdem gehören zur Unterhaltung der Gährung noch Alkalien, vorausgesetzt, dass durch eine in dem Prozesse gebildete Säure die Gährung gestört wird. Da die obige Aufzählung zeigt, dass einzelne Gährungen nur in Zerlegungen bestehen, andere aber mit Sauerstoffaufnahme verbunden sind, so ist einleuchtend, dass die letztern nicht ohne Gegenwart von Sauerstoff geschehen können, während die ersteren keines solchen Stoffes bedürfen. — Die auffallende Erscheinung, dass durch die Zerfällung einer Atomgruppe eine andere verändert werden kann, ohne dass die Bestandtheile beider Atomgruppen Verbindungen eingehen, und die noch merkwürdigere, dass durch eine beschränkte Masse des Fermentes eine so grosse Masse des gährenden Körpers zersetzt werden kann, dürfte bei der Verschiedenheit der Prozesse schwerlich auf einen Erklärungsgrund zurückgeführt werden können.

Ausser den im Text erwähnten Gährungen, werden mit einiger Wahrscheinlichkeit als gegenwärtig noch vorausgesetzt: die Umwandlung des Glycerins in Propionsäure, der Oelsäure in die niederen Glieder der $C_{.n}H_{(2n-1)}O_3$; HOgruppe; des Traubenzuckers in Alkohol (wegen der Gegenwart der Gährungspilze im Darmkanal, Mitscherlich); des Taurins in Schwefelsäure, Ammoniak und Essigsäure.

Unter den Hypothesen, welche zur Erläuterung der Gährungserscheinungen ersonnen sind, schliessen sich die von Bunsen und Schönbein gegebenen, den Thatsachen am besten an, und widersprechen nicht den mechanischen Prinzipien. Die erstere von beiden erläutert vorzugsweise die einfachen Umsetzungen, die andere aber die mit der Umsetzung verbundene Oxydation. Bunsen schliesst folgendermassen:

---

*) Buchner, Ueber einige neue Gährungs- und Verwesungserscheinungen. Liebigs Annalen 78. Bd.

**) Charakteristik der epid. Cholera. 58 u. f.

Die in einer Verbindung befindlichen Atome haben erfahrungsgemäss sehr selten oder vielleicht niemals ihre Verwandtschaften so gesättigt, dass sie auf einen anderen mit ihr in Berührung gebrachten chemisch verschiedenen Atomcomplex gar keine Anziehung mehr übten. Diese Gegenwirkung kann zu einer wirklichen Vereinigung einzelner oder aller constituirenden Theile beider Verbindungen oder nur zu einer Spannung der Atome innerhalb derselben führen. Diese Spannung kann aber in einer oder beiden Atomgruppen eine Störung ihres Gleichgewichts, oder auch ein Zerfallen derselben bewerkstelligen. Zerfällt nun eine der beiden vorhandenen Verbindungen vorzugsweise leicht, und sind ihre Spaltungsprodukte von der Art, dass sie nicht selbst wieder eine besondere Spannung in den vorhandenen unzersetzten Atomgruppen hervorrufen, so wird die erstere (die fermentirende) Atomgruppe wieder frei, und es kann demnach derselbe Stoff mit einer neuen Menge der anderen Verbindung den Prozess von Neuem beginnen u. s. f. — Diese Hypothese erklärt zugleich warum eine gewisse Zeit zur Bewerkstelligung der Zersetzung grösserer Massen gehört, und warum für besondere Gährungsprozesse besondere Fermente nothwendig sind. — Nach Schönbein wirkt zu den verbrennenden Gährungen (Verwesungen) vorzugsweise der erregte Sauerstoff mit, der sich, wie schon früher einmal erwähnt, durch seine energischen Verwandtschaften vor dem gewöhnlichen auszeichnet. Der gewöhnliche Sauerstoff wandelt sich in den erregten um, wenn er vom Sonnenlicht bestrahlt wird; ferner wenn er sich in der Nähe lebhafter Oxydationsprozesse (Verbrennung des Phosphors etc.) findet und endlich, was für uns besonders wichtig, wenn er in einer grösseren Reihe organischer Körper diffundirt ist, wie z. B. Terpentinöl, Oelsäure u. s. w. Dieser in den organischen Stoffen nur aufgelöste (aber chemisch nicht gebundene)Sauerstoff, kann auf andere oxydable Körper übertragen werden und dort Verbrennung einleiten, während zugleich der erregende Stoff von Neuem gewöhnliches Sauerstoffgas absorbirt und in den erregten Zustand versetzt. Auf diese Weise können auch hier durch kleine Mengen von Fermenten, ungeheure Quantitäten anderer Stoffe umgewandelt werden.

Die sehr berühmte Liebig'sche Hypothese steht, wie ich sie auffasse, so sehr in Widerspruch mit den Elementen der Mechanik, dass ich ein Missverständniss derselben von meiner Seite fürchte; ich muss desshalb den Leser auf den Artikel Gährung des chemischen Handwörterbuchs verweisen.

Eine besonders complizirte aber sehr wichtige, die Gährung betreffende Thatsache, ist von C. Schmidt*) entdeckt worden, welcher beobachtete, dass in einem gährenden Gemenge von Harnstoff und Zuckerlösung, der erstere so lange vor Zersetzung geschützt blieb, als noch nicht aller Zucker umgewandelt war.

Die Temperatur, welche für die Erhaltung des organischen Lebens die geeignete ist, ist zugleich die Temperatur, welche der katalytische Umsetzungsprozess zu seiner Unterhaltung bedarf; die Stoffe, welche den Lebensprozessen ein Ziel setzen, die Gifte, sind es auch, welche die Gährungen unterdrücken. Beide Thatsachen machen es wahrscheinlich, dass die Katalyse im Organismus noch viel ausgebreiteter thätig ist, als wir glauben; es dürfte leicht dahin kommen, dass die physiologische Chemie ein Theil der katalytischen würde.

2. Von den andern für den Organismus wichtigen chemischen Eigenschaften der Eiweissstoffe ist hervorzuheben a) dass einige Modifikationen derselben eine ausserordentliche chemische Indifferenz gegen die im lebenden Thier vorkommenden Stoffe besitzen, wodurch

*) Liebigs Annalen Bd. 61. p. 168.

es möglich wird, dass sie als Behälter und Filtra für Flüssigkeiten dienen können, welche mit übrigens kräftigen Verwandtschaften begabt sind; b) dass andere Modifikationen dagegen Verbindungen eingehen können mit Salzen, Säuren und Basen. Diese Verbindungen sind mannigfach benutzt. Hierher gehört das Albuminnatron, eine Substanz, die im Blut, Speichel u. s. w. vorkommt; ihre physiologische Bedeutung ist unbekannt. Ferner gehört hierher wahrscheinlich die sogenannte Pepsinchlorwasserstoffsäure (von C. Schmidt*); weiterhin die Verbindungen des Albumins und vorzüglich des Caseins mit phosphorsaurer Kalkerde, durch welche dieser wichtige Inkrustationsstoff in alkalischen Flüssigkeiten löslich gemacht ist.

3) Die physikalischen Eigenschaften, welche den Gliedern der Eiweissgruppe den Rang im Organismus vor allen Thierstoffen sichern, sind:

a) Ihre Fähigkeit, den festen mit dem flüssigen oder umgekehrt den flüssigen mit dem festen Aggregatzustand sehr leicht wechseln zu können. Durch scheinbar wenig bedeutende Einflüsse wandelt sich eine lösliche Modifikation in eine vollkommen unlösliche um; so zum Beispiel gerinnt der Faserstoff an der Luft, das gelöste Casein bei Berührung mit Laabmagen, das lösliche Eiweiss wenn es von flüssigen Fetten begrenzt wird, das lösliche Proteinbioxyd wenn es einmal eingetrocknet war; und umgekehrt verwandelt sich der feste Faserstoff beim Stehen an der Luft in einen löslichen Eiweisskörper u. s. w. Diese merkwürdige Erscheinung, macht mit geringen Mitteln die Verdauung fester Eiweisskörper, die Bildung der Gewebe aus dem flüssigen Blut u. s. w. möglich.

Ausserhalb des Thierkörpers tritt die Erscheinung nicht minder überraschend auf, wie die Gerinnung des Eiweisses durch Erhitzen und durch Schütteln mit Phenylsäure (Creosot) und Alkohol, zeigt. Die Einwirkung des Creosots und des Alkohols ist besonders dadurch merkwürdig, dass beide Stoffe keine Verbindung mit dem niedergeschlagenen (und unlösslich gewordenen) Eiweiss eingehen.

b) Die Eiweissstoffe treten beim Uebergang in den festen Zustand, so weit unumstössliche chemische Erfahrungen reichen, immer amorph, niemals crystallinisch auf. Aus diesem Grunde eignen sich dieselben zur Bildung von sehr verschieden geformten Gewebselementen; wären die Eiweissstoffe mit Crystallisationsbestreben oder (anders ausgedrückt) mit Richtkräften begabt, welche die gegenseitige Lagerung der kleinsten Theilchen bestimmten, so würden sich der Bildung jeder andern Form als der durch die Crystallisationsrichtung vorgeschriebenen Widerstände entgegensetzen. Die Schwierigkeit der ersten Bildung von Röhren, Kugelschalen etc. aus demselben Stoff würde sich aber nicht allein mehren, es würde zugleich noch die Gefahr vorliegen, dass

*) Liebigs Annalen 61. Band. Siehe hierüber die Magenverdauung.

die einmal gebildeten Formen leicht wieder in krystallinische Fragmente zerfielen.

Ob der Mangel an Krystallisationsfähigkeit den Eiweissstoffen unter allen Umständen zukommt d. h. eine sogenannte Grundeigenschaft derselben ist, oder nur unter ähnlichen als die sind, in welchen wir sie im thierischen Körper antreffen, muss so lange zweifelhaft bleiben, als nicht ausgedehntere Versuche zur Herstellung des krystallinischen Zustandes vorliegen. So weit bekannt, zeigt kein Stoff unter allen Umständen beim Uebertritt in den festen Zustand krystallinisches Gefüge *). — Die Analogie erlaubt also den Schluss, dass auch die Eiweissstoffe unter andern Bedingungen krystallisiren werden. Für diese Behauptung sprechen auch die von Reichert **) und Lehmann ***) beobachteten Krystalle, die, mögen sie bestehen woraus sie wollen, jedenfalls aus Substanzen gebildet sind, welche mit den Eiweisskörpern sehr viele Eigenschaften theilen.

c) Die im festen Aggregatzustande befindlichen Eiweissstoffe haben zum Wasser und vielen wässerigen Lösungen (und zum Theil auch zu Fetten) eine grosse Adhäsionsverwandtschaft. Diese Verwandtschaft ist so beträchtlich, dass die vollkommen trockenen Stoffe das Wassergas der Atmosphäre mit grosser Begierde an sich ziehen und in sich condensiren. In wässerige Flüssigkeiten gelegt, nehmen sie längere Zeit (oft mehrere Tage lang) hindurch, unter allmäliger Volumzunahme Wasser bis zu einem endlichen Maximum auf, die ersten Mengen mit grösserer und die darauffolgenden mit einer geringeren Geschwindigkeit. Diese Erscheinung bezeichnet man mit dem Namen der Quellung oder Imbibition. Durch einige mehr beiläufig †) als absichtlich unternommene Untersuchungen weiss man, dass das Maximum der aufgenommenen Flüssigkeit theils abhängig ist von Besonderheit der Eiweissstoffe, als da sind die Temperatur, der sie beim Trocknen ausgesetzt waren, die Zeitdauer, während welcher sie sich im trockenen Zustand befanden u. s. w., theils von der Natur der Flüssigkeit und der in ihr aufgelösten Stoffe, und der Temperatur derselben u. s. w. (siehe Diffusion der tropfbaren Flüssigkeiten).

Durch diese Flüssigkeitsaufnahme erhalten die festen Eiweissstoffe einige für den thierischen Haushalt sehr wesentliche Veränderungen ihrer Eigenschaften. Zuerst gelingt es hierdurch, mit einer geringen Menge von fester Substanz ein sehr voluminöses Gewebe darzustellen, wie ohne Weiteres erhellt. Zweitens tritt durch die Wasseraufnahme eine Veränderung in der Cohäsion ein; nach Wertheim ††) ist die Cohäsion um so geringer, je mehr Wasser aufgenommen wurde. Drittens verändert sich der Elastizitätscoeffizient und zugleich die ganze Beschaffenheit der Elastizität. Im vollkommen trockenen Zustand sind die Eiweissstoffe mit einem sehr grossen Ela-

*) Wenn man den Begriff Krystallisation nicht so weit wie Frankenhein ausdehnt; dann ist aber auch Eiweiss krystallinisch. Krystallisation u. Amorphie. Breslau 1852.

**) Müllers Archiv 1849.

***) Lehmann, Pharmazeut. Centralblatt 1852. N. 226.

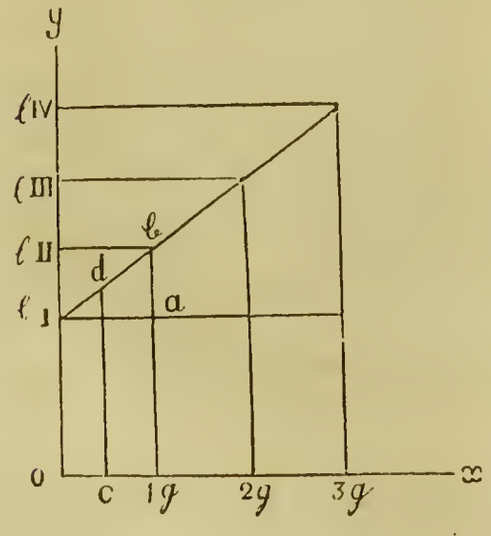
†) Chevreul. Annales de chimie et de physique XIX. (1821). Liebig, Untersuchungen über einige Ursachen der Säftebewegung. 1848. p. 8 u. f.

††) Annales de chimie XXI. (1847). p. 358.

stizitätscoeffizienten begabt, d. h. sie dehnen sich, wenn grosse Gewichte an ihnen hängen, nur um einen kleinen Bruchtheil ihrer Länge aus; zugleich besteht für sie das auch bei unorganischen Stoffen giltige Gesetz, dass innerhalb gewisser Grenzen die Ausdehnung direkt proportional den angehängten Gewichten wächst (Wertheim). Im feuchten Zustand dagegen ist ihr Elastizitätscoeffizient ein niedriger und zugleich ein für verschiedene Belastungen variabler. In dieser letzten Beziehung steht fest, dass gleich grosse Gewichte einen um so geringern Zuwachs der Länge erzeugen, je beträchtlicher schon die vorher angehängten Gewichte (oder Spannungen) gewesen waren, oder mit andern Worten, es setzte der feuchte eiweissartige Stoff den ersten Ausdehnungen geringern Widerstand entgegen als den späteren. Wertheim gibt an, dass das Gesetz, nach welchem der Elastizitätscoeffizient veränderlich sei, durch eine Hyperbel dargestellt werden könne. Wie der Augenschein lehrt, ändert sich auch der absolute Werth des Elastizitätscoeffizienten, wenn das in den Eiweissstoff eingedrungene Wasser Salze aufgelöst enthält; so ist z. B. Faserstoff, der sich mit Kochsalzauflösung imprägnirt hat, schwieriger ausdehnbar als der mit reinem Wasser durchdrungene und leichter ausdehnbar als der trockene.

Zum Verständniss des Ausdrucks Elastizitätscoeffizient, Gesetz seines Wechsels u. s. w., diene folgendes: Unter den verschiedenen Arten sogenannter Elastizitäten hat man in der Physiologie bisher nur das Augenmerk gerichtet auf die sogenannte Zugelastizität, welche gemessen wird durch die lineare Ausdehnung, die in einer festen Masse ein momentan wirkender, nach Gewichten zu schätzender Zug erzeugt. Der schematische Versuch zur Bestimmung dieser Art von Elastizität gestaltet sich, wie Jedermann geläufig, der Art, dass man, nachdem man eine Masse von bekanntem Querschnitt und bekannter Länge an ihrem einen (dem obern) Ende aufgehängt und das andere frei schwebende Ende mit Gewichten beschwert hat, beobachtet welche successive Verlängerung mit successiv steigender Gewichtsvermehrung eintritt. Um die bei Versuchen mit Stoffen von verschiedenartigen Dimensionen gefundenen Verhältnisse zwischen Gewichts- und Längenzuwachs untereinander vergleichbar zu machen, hat man zunächst die zu vergleichenden Massen auf ein und denselben Querschnitt, auf die Querschnittseinheit, zu reduziren, was durch die gewöhnliche Proportionsrechnung geschieht, bei deren Ansatz man die Verlängerungen gleich langer Stücke durch gleich grosse Gewichte den Querschnitten umgekehrt proportional setzt. Dann aber müssen auch die Längen auf die Einheit der Länge reduzirt, und die Zuwächse derselben als Bruchtheile dieser Längeneinheit dargestellt werden. Das Verfahren hierbei ist folgendes: Gesetzt es seien in beistehender Figur 2. auf die Ordinate y die Längen und auf die Abszisse x die Gewichte aufgetragen und es bedeute ol^{I} die ursprüngliche Länge als kein Gewicht an der Masse zog, ol^{II} diejenige als 1 Gewicht, ol^{III} als das doppelte des ersten Gewichts ol^{IV} als das Dreifache des ursprünglichen Gewichts ange-

Fig. 2.



hängt war, so ist offenbar $ol^{II}—ol^{I}$ der Längenzuwachs, den ol durch Anhängen von 1 Gewicht, $ol^{III}—ol^{II}$ der Zuwachs, den ol^{II} durch Vermehrung des ersten Gewichts auf seinen doppelten Werth erfahren u. s. w. Mit dem Werthe dieses beobachteten Längenzuwachses dividirt man nun in die mittlere Gesammtlänge vor und nach der Ausdehnung um den proportionalen Zuwachs zu erfahren; so z. B. ist $\frac{l^{II}—l^{I}}{\frac{1}{2}l^{I}+l^{II}}$ $\left(\text{oder } \frac{ab}{cd}\right)$ der proportionale Zuwachs als das Gewicht $1g$ angehängt worden war. Mit diesen proportionalen Zuwächsen lässt sich nun abermals eine Curve bilden. Denn trägt man ihre den bestimmten Gewichten entsprechende Werthe l^{I}, l^{II}, l^{III}, auf eine Ordinate y (in Fig. 3) und die zu ihnen gehörigen Gewichte $1g$, $2g$, $3g$ auf die Abszisse x, so stellt die Linie oc, welche die Schnittpunkte der Coordinaten o, a, b, c, verbindet nun offenbar den fortlaufenden Zuwachs der Verlängerung dar, welcher zum Vorschein kommt, wenn die Längeneinheit allmälig mit steigenden Gewichten von o bis zum Werthe $3g$ beschwert wird. — Diese Linie dient nun zur Charakteristik der elastischen Eigenthümlichkeiten verschiedener Stoffe. Zuerst erkennt man aus ihr das Verhältniss der absoluten Werthe der Elastizität, wenn man entweder bei gleichbleibendem Gewicht (oder der Einheit des Gewichts) den verschiedenen Werth der Verlängerung (Ausdehnbarkeitsmass) oder bei gleichbleibendem Zuwachs (die Einheit des Zuwachses) die hierzu nöthigen verschiedenen Gewichte vergleicht. — An unserer Figur ausgedrückt würde also das Ausdehnbarkeitsmass $\frac{l}{g}$ und das Elastizitätsmass $\frac{g}{l}$ bedenten, wo jedesmal der Divisor eine willkürliche aber in den verglichenen Fällen gleiche Einheit bedeutet. — Zweitens gibt aber diese Linie auch unmittelbar darüber Aufschluss, ob an ein und derselben Substanz bei allmähliger Steigerung der Gewichte der Quotient $\frac{g}{l}$ oder $\frac{l}{g}$ constant bleibe oder wechsele; die Erfahrung lehrt nämlich, dass entweder unsere Linie eine gerade wie Fig. 3, oder eine gekrümmte wie in Fig 4 sei; im ersten Fall sind wie bekannt der Quotient $\frac{l^{I}}{^{1}g}$; $\frac{l^{II}}{^{2}g}$ u. s. f. gleichwerthig, d. h. es wächst direkt proportional mit der Gewichtsvermehrung der Längezuwachs, im andern Fall sind diese Quotienten dagegen veränderlich. — Wie sich noch von selbst versteht, lässt sich bei fortlaufender direkter Proportionalität die ganze auf Zugelastizität bezügliche Erscheinungsreihe durch Angaben des absoluten Werthes des Quotienten des sogenannten Elastizitätscoeffizienten feststellen; im andern Fall muss dagegen entweder neben dem absoluten Werth eines Quotienten noch das Gesetz der fortlaufenden Veränderlichkeit dieses Elastizitätscoeffizienten gegeben sein, oder wenn dieses wie meistentheils nicht möglich, angegeben werden, welchen Werth der Quotient mit der Veränderung des Gewichts annimmt, d. h. wie gross der durch die Gewichtseinheit erzeugte Längenzuwachs sei, wenn vorher schon entweder 0, oder 1, 2, 3 u. s. w. Gewichtseinheiten angehängt waren.

Figur 3.

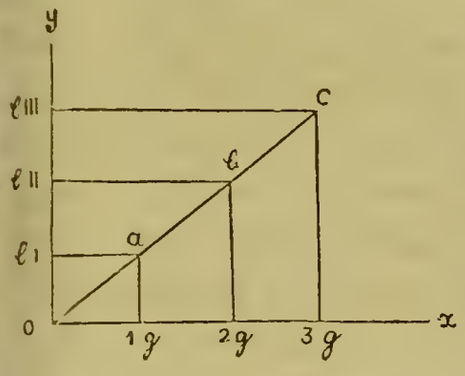
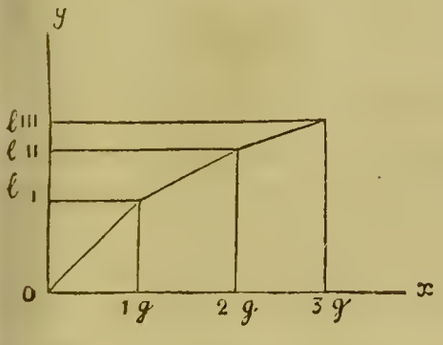


Fig. 4.



(Die Berechnung des Elastizitätscoeffizienten für unseren besondern Fall siehe bei Werthheim am angezogenen Orte p. 391).

Viertens. Die Durchtränkung der Eiweissstoffe mit Wasser macht es möglich, dass andere wässerige Lösungen durch eine und dieselbe feste Masse bald hindurchdringen können, bald an derselben für ihre Weiterverbreitung einen undurchdringlichen Widerstand finden. Sie dringen hindurch, insofern sie sich in Folge chemischer Anziehungen in dem eingesogenen Wasser verbreiten, während sie nicht durchzudringen vermögen, wenn sie mittelst mechanischer Gewalt die eingesogene Flüssigkeit verdrängen wollen (Filtration). Wir werden bei der Diffusion hierauf noch zurückkommen. — Fünftens. Vollkommen trockene Eiweisstoffe sind unfähig, electrischen Strömen den Durchgang zu gestatten; durch ihre Durchtränkung mit Wasser erhalten sie die Leitungsfähigkeit, und zwar steigt dieselbe mit der Menge des eingesogenen Wassers, indem dieses letztere allein den Durchtritt der Electricität vermittelt*). — Endlich sechstens ist vermöge der Durchtränkung der Durchgang der Lichtstrahlen durch die Eiweisstoffe wesentlich modifizirt; auf diesen Punkt, der noch genauerer Untersuchung bedarf, macht uns die Thatsache aufmerksam, dass ein Stoff beim Trocknen, ein anderer aber erst beim Durchfeuchten und umgekehrt durchsichtig wird.

d) Die Eiweissstoffe sind endlich auch schlechte Wärmeleiter; leider fehlt uns aber über ihr Verhalten gegen Wärme jede gründliche Untersuchung; ihre Funktion, die sie in ihrer Eigenschaft als Wärmeleiter übernehmen, werden wir später besprechen.

Der Nachweiss, dass wir die eiweissartigen Stoffe mit den Nahrungsmitteln aufnehmen, gehört zu den Entdeckungen, welche einen neuen Abschnitt in der Geschichte der Wissenschaft bezeichnen. Dieses ausserordentliche Verdienst gebührt Mulder.

47. Mucin, Schleimstoff enthält in 100 Theilen nach Scherer $C_{52,4}H_{7,0}N_{12,8}O_{27,8}$. Schwefel konnte (durch KO?) nicht nachgewiesen werden. Mit 4 pCt. alkalischer und phosphorsauren Kalk haltender Asche verbunden. Seine Fundorte sind die Mundflüssigkeit, Darmflüssigkeit, Sekret des Uterus und der Scheide, in der Synovia, der Galle, dem Pankreassaft (?), der Flüssigkeit der Unterkieferdrüse, dem Harn und nach Virchow in zahlreichen pathologischen Gebilden.

Dieser Körper zählt vorzugsweise zu den katalytisirenden; in Verbindung mit Speichel dient er als Ferment für Umwandlung des Amylons in Zucker; ferner für die Verwandlung des Harnstoffs in kohlensaures Ammoniak, für die Gallengährung und die Verwandlung der neutralen Fette in Glycerin und Fettsäuren. — Ausserdem zeichnet er sich durch seine Schlüpfrigkeit und Klebrigkeit aus. Vermöge dieser Eigenschaft unterstützt er das Niedergehen des Speisebissens durch

*) Ed. Weber quæstiones physiologicæ de phænomenis galvano-magneticis etc. Leipzig 1836.

den Schlund und die Speiseröhre und das Uebereinandergleiten der Gelenk- und Sehnenflächen.

Er ist ein Produkt des thierischen Körpers. Frerichs*), Scherer**) und Tilanus***) vermuthen eine innige Beziehung zwischen ihm und den Epithelialstoffen.

48. Pepsin, nach Vogel in 100 Thl. C56,7 H5,6 N21,1 O16,5. Es liegt keine Garantie vor, dass der analysirte Körper rein war. — Dieser Stoff besitzt die Eigenthümlichkeit, auf katalytischem Wege die Auflösung geronnener Eiweissverbindungen in salz- und milchsaurem Wasser zu bewirken; er wird darum im Magen- und Darmsaft von Wichtigkeit.

49. Elastischer Stoff. In 100 Theilen $C_{55,6}\,H_{7,4}\,N_{17,7}\,O_{19,2}$; die von Mulder hieraus berechnete Formel ist $C_{52}\,H_{40}\,N_7\,O_{14}$; durch eine Chlorverbindung soll dieselbe bestätigt sein. Unter seinen Zersetzungen ist nur bemerkenswerth, dass er mit Salpetersäure, so weit bekannt, ähnliche Produkte (und namentlich Xanthoproteinsäure) gibt als die Eiweissstoffe. Unser Stoff bildet die Grundlage der sehr verbreiteten elastischen Gewebe. Durch ausserordentliche Elastizität der aus ihm bestehenden Gewebe, seine Indifferenz gegen Lösungsmittel und seine eigenthümlichen Imbibitionserscheinungen (wovon später) ist der Stoff für den Organismus von Bedeutung.

50. Chondrigen und Chondrin. Aus der Cornea und allen Knorpeln, bevor sie verknöchert oder in Fasergewebe umgewandelt sind, kann durch Kochen eine Substanz (Chondrin) dargestellt werden, welche mit Aether und Alkohol gereinigt, dieselbe Zusammensetzung besitzt, wie die mit Aether und Alkohol gereinigten Gewebe (Chondrigen), aus denen sie dargestellt ist. — Diese Substanz gibt übereinstimmend in 100 Thl. C 59,5 H7,1 N14,9 O 28,6 S0,4. — Aus dieser Analyse, und Verbindungen mit Chlor und schwefelsauren Eisenoxyd berechnet Mulder die Formel 5 ($C_{32}\,H_{26}\,N_4\,O_{14}$) S. Diese Formel muss mit Misstrauen betrachtet werden, da sich aus der Chondrinlösung, wie sie durch Kochen erhalten wird, nach Mulder viele durch das Kochen nicht aufgelösste flockige Theile nicht abfiltriren lassen; das Chondrin enthält bis zu 6,5 pCt. Kalk-Salze.

Das Chondrigen hat viele physikalische Eigenthümlichkeiten mit den aus Eiweissstoffen bestehenden Geweben gemein, wie bei der Cornea und dem Knorpel näher ausgeführt wird, wohin die weiteren Betrachtungen zu verschieben sind, da der reine Stoff der Untersuchung nicht zugänglich ist.

51. Collagen, Colla. Durch anhaltendes Kochen verwandeln sich bekanntlich die sogenannten Bindegewebe und die verknöcherten Knorpel (Collagen) in Colla um. Beide Stoffe sollen nur durch einige physikalische Eigenschaften verschieden sein. Ihre Zusammensetzung in 100 Theilen ist $C_{50,9}\,H_{7,2}\,N_{18,3}\,O_{22,7}\,S_{0,5}$; die Asche, meist phosphorsaure Kalkerde, beträgt von 0,6 bis 5 pCt.; der Gehalt an Schwefel ist wechselnd bis zu 1 pCt.; er ist durch Kochen mit Kali nicht nachweisbar.

---

*) Artikel Synovia in Wagners Handwörterbuch. III. A.
**) Ueber den flüssigen Schleimstoff, Liebigs Annalen 57. Bd.
***) Specimen chemico-physiol. inaug. contin. quædam de saliva et muco. 1849.

Die absolute Atomzahl stellt Mulder durch C_{13} H_{10} N_2 O_5 dar; dass diese Annahme ungenügend sei, geht schon daraus hervor, weil in dieser Formel der Schwefel keine Stelle erhalten hat. Zudem sind die Verbindungen mit Cl und Gerbsäure, welche Mulder zur Bestimmung des Atomgewichts benutzt hat, entweder leicht zersetzlich, oder sehr complizirter Natur. Die Zersetzungsprodukte des Leims führen zudem zu ganz anderen Annahmen, dahin nämlich, dass der Leim und die Eiweissstoffe gewisse gemeinsame Atomgruppen enthalten, so dass sich also der Leim diesen Stoffen sehr annähert. Denn: mit chromsauren Kali oder Mangansuperoxyd und Schwefelsäure behandelt, gibt Leim alle die Zersetzungsprodukte der Eiweissstoffe mit der wahrscheinlich unwesentlichen Ausnahme des Aldehyds der Propionsäure. Mit SO_3 und Alkalien gekocht zerfällt er nach Mulder (neben andern Produkten?) in Ammoniak, Glycocoll und Leucin. Guckelberger, der zuerst die Aehnlichkeit der Zersetzungsprodukte der Eiweissstoffe und des Leims durch Oxydationsmittel nachgewiesen, glaubt Casein und Leim als entgegenstehende Glieder einer Gruppe aufstellen zu dürfen, indem Casein am meisten Bittermandelöl und Benzoesäure, Leim dagegen am meisten Essigsäure und Ameisensäure liefere. Die Aehnlichkeit beider Stoffe bethätigt sich auch durch die mannigfache Uebereinstimmung in physikalischen Eigenschaften.

Collagen zeigt wie die Eiweissstoffe die sogenannte Selbstzersezzung; diese geschieht unter denselben Bedingungen wie die des Eiweisses; ausnahmsweise hindern arsenige Säure und Gerbsäure die Leimzersetzung, aber nicht die der Eiweissstoffe. Während derselben wirkt es ebenfalls fermentirend, und zwar so weit bekannt, ähnlich den Eiweissstoffen. Ob es aber und wie es hierdurch für den Organismus bedeutend wird, ist unbekannt. — Von seinen übrigen chemischen Eigenschaften ist nichts wesentliches bekannt, da Collagen nicht als solches in Auflösung gebracht werden kann.

In seinen physikalischen Eigenschaften, namentlich denen der Imbibition, der Elastizität, des Mangels an Crystallisationsvermögen, steht es den festen Eiweissstoffen nahe. Wir müssen aber ihre Besprechung auf Knochen, Bindegewebe, Haut u. s. w. verweisen, weil wir bis jetzt nur die Eigenschaften des in bestimmte Formen gebrachten Collagens, nicht aber die des homogenen Stoffes kennen.

Das Collagen wird beim Fleischfresser schon mit der Nahrung eingeführt; beim Säugling und bei den von Pflanzenkost lebenden Individuen dagegen niemals; bei diesen muss es sich also im Organismus bilden.

Anhangsweise verdient erwähnt zu werden, dass Scherer *) im sogenannten weissen Blut Milzkranker, einen Stoff fand, dessen Reaktionen denen des Leims identisch waren.

---

*) Verhandlungen der med. physikalischen Gesellschaft zu Würzburg II. Bd. 321.

Zweiter Abschnitt.

Physiologie der Aggregatzustände.

Da die im vorigen Abschnitt beschriebenen Atome in den drei möglichen Aggregatzuständen zur Bildung des Organismus zusammentreten, so müsste, indem wir auf einer weiteren Verfolgung ihrer Leistungen für den Lebenshergang begriffen sind, erörtert werden, welche Veränderung in ihren Eigenschaften die Masse im Allgemeinen erleidet, wenn sie aus diesen in jenen Aggregatzustand eintritt. Wir unterlassen jedoch grösstentheils die in diesem Sinne möglichen Betrachtungen, weil sie in ihrer Allgemeinheit geführt, den Physiologen wenig befriedigen und in der That auch nur zu einer einfachen Uebertragung der bekannten Abschnitte physikalischer Lehrbücher über Wärmeleitung, Dichtigkeit, Elastizität, Druckmittheilung, Porosität u. s. w. u. s. w. führen würden. Nur eine Folge des flüssigen Aggregatzustandes, die Diffusionen werden wir ausführlicher behandlen.

Diffusionen.

Zwei Flüssigkeiten, tropfbare oder gasförmige, durchdringen sich, vorausgesetzt dass sie keine deprimirende Capillarität zu einander zeigen, wenn sie unmittelbar in Berührung gelangen, auch ohne Vermittlung der chemischen Verwandtschaft und der mechanischen Erschütterung so innig, dass schliesslich der ursprünglich nur von einer derselben eingenommene Raum auch von der andern erfüllt wird. Diese Erscheinung findet, unter Voraussetzung der Undurchdringlichkeit körperlicher Massen und ihrer Zusammensetzung aus kleinsten Theilchen (Molekeln), nur dann eine Erklärung, wenn die Molekeln den Massenraum nicht ununterbrochen ausfüllen, so dass Lücken (molekulare Poren) zwischen ihnen übrig bleiben.

Die Erscheinungen selbst, sowie die ihr zu Grunde liegenden Ursachen, sind andere bei den Luftarten als bei den tropfbaren Flüssigkeiten; beide müssen darum gesondert betrachtet werden.

Gasdiffusion *).

1. Diffusion zweier Gasarten bei unmittelbarer Berührung. Berühren sich zwei verschiedene Gase unmittelbar (wie z. B. in den Poren einer sie trennenden trocknen Scheidewand)

*) Poggendorf Artikel Diffusion im Handwörterbuch der Chemie 2. Bd.

unter der Voraussetzung dass beide Luftarten demselben Barometerdrucke und derselben Temperatur unterworfen sind, so strömen sie mit Geschwindigkeiten in einander, die sich verhalten umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den spezifischen Gewichten (den Dichtigkeiten) beider Gase. Da, wegen der Gleichheit der Berührungsflächen, die Stromflächen beider Gase gleichen Querschnitt besitzen, so folgt hieraus, dass die Volumina, welche zwei ineinander diffundirende Gase austauschen, sich ebenfalls umgekehrt wie die Wurzeln aus den Dichtigkeiten der Gase verhalten. Aus dieser Erfahrung folgert man mit grosser Wahrscheinlichkeit, dass die Ursache der Mischung bei der Diffusion in der Spannkraft der Luftarten (in der Repulsion, welche zwischen ihren einzelnen Theilchen besteht) gelegen sei, und ferner, dass zwischen den Molekeln zweier verschiedener Gasarten keine Abstossung besteht, oder mit andern Worten, dass zwei verschiedene Gasarten keinen Druck aufeinander ausüben.

Diese Folgerungen erlaubt man sich, weil verschiedene Gasarten in demselben Verhältniss der Geschwindigkeiten in den leeren Raum eindringen, mit denen sie sich in einander ergiessen; denn nach einem von Dalton ermittelten Gesetz strömen durch weite und kurze Röhren verschiedene Gasarten mit Geschwindigkeiten in den luftleeren Raum, die sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den spezifischen Gewichten verhalten. Dieses Gesetz ist in seinen Ursachen sogleich klar, wenn man bedenkt, dass die Dichtigkeit (das spezifische Gewicht) einer Luftart nur die Folge seines Ausdehnungsbestrebens und des Widerstandes (oder des barometrischen Druckes) ist, welcher sich ersterem entgegensetzt. Die Dichtigkeit eines Gases ist demgemäss das Mass für die Triebkräfte, welche die Entfernung der Theilchen von einander bedingen, vorausgesetzt, dass die dem Vergleich unterworfenen Gasmengen unter gleichem barometrischem Druck waren, und es wird die Repulsionskraft des einen Gases in diesem Falle um so viel Mal grösser als die des andern sein, um so geringer seine Dichtigkeit ist. Da nun sich die Geschwindigkeiten strömender Flüssigkeiten so verhalten, wie die Wurzeln aus den drückenden Kräften, so muss die dünnere Gasart bei aufgehobenem Widerstand rascher, und zwar in dem bezeichneten Verhältniss rascher strömen als die dichtere. Da dieselben Verhältnisse der Geschwindigkeit auch bei gegenseitiger Durchdringung bestehen, mit andern Worten, da sich die eine Gasart gegen die andere wie ein luftleerer Raum verhält, so darf man voraussetzen, dass zwei chemisch verschiedene Luftarten keinen Druck aufeinander ausüben. Die Uebereinstimmung zwischen dem Dalton'schen Gesetze und dem Diffusionshergang würde vollkommen sein, wenn es sich erweisen sollte, dass das sogenannte Graham'sche Gesetz nicht in voller Schärfe giltig wäre. Nach Graham strömen nämlich auch durch eine engporöse trockene Scheidewand zwei Gase ineinander mit Geschwindigkeiten, die sich umgekehrt wie die Wurzeln aus den Dichtigkeiten verhalten. Für einen Gasstrom durch capillare Oeffnungen von merklicher Länge, wie in dem Graham'schen Fall, gilt aber bekanntlich das Dalton'sche Gesetz nicht mehr*), da jedes Gas mit einem besonderen Reibungscoefficienten behaftet ist, der einen spezifisch verlangsamenden Einfluss auf seine Stromgeschwindigkeiten ausübt.

Der hier erörterte Fall findet im menschlichen Organismus nur selten Anwendung; so weit wir wissen gilt er nur für Luft, die aus

*) Graham on the motion of gases. Philosophical Transactions Part IV for 1846.

den kleinen Bronchialzweigen in die grössern, und aus den Sinus der Nasenhöhlen in diese selbst dringt.

2. Diffusion der Gasarten in tropfbare Flüssigkeiten; Absorption der Gase. Gerade so wie Luftarten in Räume strömen, die scheinbar schon von andern Gasen eingenommen sind, dringen sie auch ohne Zuthun der chemischen Verwandtschaft in tropfbare Flüssigkeiten. Den Beweiss, dass sie in diesen noch als Gase (in den molekularen Poren der Flüssigkeit) enthalten seien, finden wir darin, dass die absorbirten Gase dem Mariotteschen Gesetz folgen, denn das spezifische Gewicht des absorbirten Gases steigt geradezu mit dem Drucke. Für diese Diffusion gelten folgende Gesetze: a) Eine jede Flüssigkeit absorbirt von einem jeden Gase nur ein ganz bestimmtes Volum; die absorbirte Gewichtsmenge des Gases ist demnach abhängig von dem Drucke, unter welchem sich das Gas in der Flüssigkeit findet.

So nimmt z. B. 1 Kubikcentimeter Wasser 1 Kubikcentimeter Kohlensäure auf, gleichgiltig ob die Kohlensäure bei $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2 u. s. w. Atmosphärendruck aufgesogen wurde. Die bei verschiedenen Atmosphärendrücken aufgenommenen Gewichtsmengen der Gasart verhalten sich aber wie die Werthe der Drücke. Das Bedeutungsvolle bei dem Hergang besteht also darin, dass ein gewisses Gewicht des Wassers nicht ein bestimmtes Gewicht von CO_2, sondern ein bestimmtes Volum HO ein bestimmtes Volum CO_2 aufnimmt.

b) Die verschiedenen Gasarten und Flüssigkeiten sind in Beziehung auf einander mit besondern Absorptionscoefficienten behaftet, d. h. in einer jeden Flüssigkeit diffundiren von verschiedenen Gasarten ganz verschiedene Volumina und eine jede Gasart diffundirt mit ganz verschiedenen Maastheilen in verschiedenen Flüssigkeiten. c) Aus der Angabe, dass das Gas als solches in der Flüssigkeit enthalten sei, folgt die durch die Erfahrung bestätigte Ableitung, dass eine Flüssigkeit, welche ganz oder theilweise mit einer Luftart gesättigt ist, beim Einbringen in einen Raum, der mit einer andern Gasart erfüllt ist, einen Theil seines Gases verliert und umgekehrt einen Antheil des neuen aufnimmt. Denn da die neue Gasart keinen Druck auf die in der Flüssigkeit enthaltenen ausübt, dunstet so lange aus dieser letzteren Gas ab, bis die Gasart innerhalb der Flüssigkeit denselben Druck besitzt als die ausserhalb desselben befindliche. Aus demselben Grund wird aber auch das neue Gas in die Flüssigkeit dringen müssen.

Es ist noch nicht gelungen, eine scharfe Vorstellung über den ganzen Absorptionshergang zu bilden. Man kann nach dem Vorstehenden nur im Allgemeinen aussprechen, dass die Absorption ebensowohl eine Folge der Spannkräfte in den Gasen als auch der molekulären Anziehungen zwischen Gasen und Flüssigkeiten ist. Zur Hinzuziehung des letzteren Einflusses nöthigt uns namentlich der besondere Absorptionscoefficient, der oft die Einheit übersteigt, d. h. die Thatsache, dass ein Maastheil Flüssigkeit oft 2, 3 und mehr Maastheile Gas aufnimmt.

Aus einem einfachen Eindringen der Gasart in Lücken zwischen die Flüssigkeitstheilchen kann diess nicht erklärt werden.

3. Diffusion zweier Gasarten ineinander, welche durch eine wässerige Scheidewand getrennt sind. — Die Combination der beiden Fälle, in welchen Gase in Gase und Gase in Flüssigkeiten einströmten, erlaubt im Allgemeinen eine Ableitung für den hier zu besprechenden Fall, indem sich der Erfolg desselben offenbar richtet nach der Diffusionsgeschwindigkeit der betreffenden Gase und dem Absorptionscoefficienten der Flüssigkeit. Denken wir uns, um sogleich zu einem Beispiel überzugehen, ausser den früher schon angenommenen Bedingungen gleichen Barometerdruckes und gleicher Temperatur rechts von der Scheidewand eine Flüssigkeit, von geringerem specifischem Gewichte als links, so würde ohne die Gegenwart der Flüssigkeitsschicht dieselbe rascher und in grösseren Mengen diffundiren; denken wir uns nun aber, dass die Gasart rechts zugleich weniger leicht und weniger massenhaft in der Flüssigkeit der Scheidewand löslich sei, so kann sie das Uebergewicht, was sie erhielt, wieder einbüssen. Man muss sich, um sich den Hergang vollkommen klar zu machen, die Vorstellung aneignen, dass mit dem grösseren oder kleineren Absorptionscoefficienten der Flüssigkeit, der Querschnitt des diffundirenden Gasstromes steigt und fällt, und somit der Stromquerschnitt der einen von beiden Gasarten, welche einen geringern Absorptionscoefficienten besitzt, in der Flüssigkeit ein kleinerer wird, als derjenige der andern Gasart, welche mit einem grösseren Absorptionscoefficienten behaftet ist. — Dieser Auseinandersetzung entsprechen, so weit wir wissen, die Erfahrungen vollkommen.

Zur Bestätigung der über die Diffusionen der Gase in Flüssigkeiten aufgestellten mathematischen Gesetze fehlt es immer noch an scharfen Beobachtungen, welchen besondere Schwierigkeiten entgegenstehen, weil die Absorptionscoefficienten schwer zu ermitteln sind, da die Flüssigkeiten kaum gasfrei erhalten werden können. Von physiologischer Wichtigkeit wäre auch noch die Untersuchung der Geschwindigkeit der Absorption, und der Kraft, mit welcher die einmal absorbirten Gase gebunden gehalten werden, Fragen, deren Lösung noch nicht versucht ist.

*Diffusion tropfbarer Flüssigkeiten**).

Die Lehre von der Hydrodiffusion, wie du Bois im Gegensatz zu der Gasdiffusion die Durchdringung tropfbarer Flüssigkeiten genannt

---

*) E. Brücke de diffusione humorum p. septa viva etc. Berl. 1842 u. Poggend. Annalen 1843. Poggendorf Art. Absorption im Handwörterbuch d. Chemie I. Bd. u. Diffusion ibid. II. Bd. 595. Vierordt Bericht über die bisherigen die Endosmose betreffende Untersuchungen u. s. w. im Archiv v. Roser u. Wunderlich 1846, 47 u. 48. — Liebig, Untersuchungen über einige Ursachen der Säftebewegung. Braunschweig 1848. Jolly, Experimentaluntersuchungen über Endosmose. Zeitschrift für ration. Medicin Vol. VII. — C. Ludwig über endosmot. Aequivalente u. endosm. Theorie ibid. Vol. VIII. Cloetta Diffusionsversuche durch Membranen mit 2 Salzen. Zürich 1851. — Olechnowitz experimenta quædam de endosmosi. Dorpat 1851. — Wistingshausen experimenta quædam endosmotica etc. Dorp. 1851. Ausserdem sind wichtig die Berliner physikal. Jahresberichte für 1845 p. 26 für 1847 p. 14 u. 1848 p. 24. Verfasst von E. Brücke.

haben will, hat sich nur erst an wenigen Punkten aus dem Bereich der Casuistik in das des Gesetzes erhoben; die meisten uns bekannten Thatsachen entbehren darum des allgemeineren Interesses. Die folgende Darstellung stellt sich die Aufgabe, neben Hervorhebung der für den Physiologen wichtigen Fälle, die Anfänge von Gesetzen, welche die bisherigen Untersuchungen ergaben, und welche sich als Ausgangspunkte neuer Versuche einladend erweisen, mitzutheilen. Demgemäss muss die Theorie der Lösung mit aufgenommen werden.

Das Bestehen der Hydrodiffusion, d. h. der Erscheinung, dass aus in ihnen selbst gelegenen Gründen zwei oder mehrere in Berührung gekommene verschieden zusammengesetzte Flüssigkeiten ihre Bestandtheile so lange austauschen, bis sie überall vollkommen gleichartig sind, wird dadurch erwiesen, dass diese Vermischung unter den erwähnten Bedingungen vorkommt, selbst wenn keine andere Ursache derselben, (Erschütterung, spezifisches Gewicht u. s. w.) aufzufinden ist. Diese gegenseitige Durchdringung sieht man aber in der gegebenen Beschränkung selbst wieder als Folge zweier grundsätzlich verschiedener Ursachen an, nämlich einerseits der chemischen Verwandtschaft und anderseits des sogenannten Lösungsvermögens; den Beweis, ob der eine oder andere dieser Einflüsse wirksam gewesen sei, glaubt man herleiten zu können aus der Entwicklung oder Bindung von Wärme und aus der vorhandenen oder mangelnden Verbindung nach chemischen Aequivalenten. Ohne zu untersuchen, inwieweit diese Annahme gerechtfertigt sei, wollen wir diese Spaltung der Thatsachen insofern adoptiren, als wir hier vorzugsweise uns an die Fälle von Mischung halten, welche in beliebigen (nicht in äquivalenten) Verhältnissen ohne Entwicklung von Wärme geschehen.

1. Lösung. Die Erscheinungen, welche die Lösung, d. h. die Verflüssigung fester durch flüssige Stoffe auszeichnen, sind:

a) Es wird jedesmal Wärme latent gemacht. Da diese Wärme unzweifelhaft dazu verwendet wird, um die Cohäsion des festen Stoffes zu überwinden, seinen Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand möglich zu machen, so muss die Menge der jeweilig verschluckten Wärme mindestens den Werth derjenigen erreichen, welche beim Schmelzen des fraglichen Stoffes in höhern Temperaturen latent wird. Die Erfahrungen von Graham*) und Person**) lehren nun aber, dass bei der Auflösung mehr Wärme dem freien Zuztand entrückt wird, als bei der Schmelzung, und namentlich dass alles andere gleichgesetzt, die Menge der verschluckten Wärme wächst mit dem Grade der Verdünnung, welchen die Lösung erfährt, oder anders ausgedrückt, mit der Ausdehnung, welche der in der Flüssigkeit vertheilte Stoff erleidet. Diese Thatsache führt zu der wichtigen Folgerung, dass die

*) Philosoph. Magaz. XXIV. 1.
**) Annal. d. chim. et phys. 3. Ser. XXXIII.

Theilchen des in Auflösung befindlichen festen Stoffes sich noch fortwährend in einer gegenseitigen Anziehung befinden, so dass zu jeder weitern Entfernung derselben ein Aufwand von freien Kräften erforderlich ist.

Für den Anfänger muss zur Abwehr gegen Missverständnisse noch angegeben werden, dass es nur scheinbar ist, wenn bei der Lösung eines Stoffes weniger Wärme latent wird, als bei der Schmelzung. Freilich wird häufig durch die Lösung der Umgebung sehr wenig Wärme entzogen; dieses geschieht aber nur darum, weil in Folge der Lösung auch Wärme frei wird, welche zu der Verflüssigung des Salzes benutzt werden kann. Die Quellen, aus welchen jene Wärme fliesst, liegen theils in der eintretenden Verdichtung, theils darin, dass die Wärmecapacität der Lösung geringer ist, als diejenige des Wassers und des flüssigen Salzes für sich. Besondere Beweise hiefür siehe bei Person.

b) Das spezifische Gewicht (die Dichtigkeit) der Lösung ist nicht das mittlere aus demjenigen des festen Stoffes und der Flüssigkeit; es ist stets höher als das hypothetische mittlere.

c) Der Siede- und Gefrierpunkt des Lösungswassers hat sich erhöht, beziehungsweise erniedrigt, ebenso wie die Ausdehnungsfähigkeit der Lösung durch die Wärme geringer ist als die mittlere zwischen der des festen Stoffes und der Flüssigkeit. Diese letzen beiden allgemein gültigen Thatsachenreihen beweissen als eine Erweiterung zu der unter a) erwähnten, dass auch die Theilchen des Lösungsmittels und des aufgelösten Stoffes sich gegenseitig innig binden, weil namentlich nur unter dieser Voraussetzung verständlich wird, dass das Wasser in der Lösung seinen flüssigen Zustand Temperaturen gegenüber bewahrt, welche das freie Wasser schon in Dampf oder Eis verwandelt hätten. Wenn nun auch im Allgemeinen die die Auflösung begünstigenden, resp. sie hemmenden Einflüsse dargestellt werden durch die Cohäsion des festen Stoffes für sich und des Wassers für sich (mit andern Worten, durch die Menge von Wärme, welche gebunden werden muss, wenn eine dem Verdünnungsgrad der Lösung entsprechende Ausdehnung der flüssigen und festen Stoffe herbeigeführt werden soll), ferner durch die Menge der freien verwendbaren Wärme (sei es, dass sie von aussen zugeführt oder in der Lösung selbst entwickelt werde), und endlich durch die Lösungsverwandtschaft der festen und flüssigen Theile zu einander (oder den Widerstand, den die Masse bei Einwirkung der Wärme dem Verdunsten entgegensetzt), so ist es dennoch aus Mangel an guten Versuchen unmöglich, Angaben darüber zu machen, wie mit dem Werth der bezeichneten Umstände die Geschwindigkeit der Verflüssigung, die Menge und die Energie der Bindung des aufgelösten Stoffes wachse. Bevor dieses Fundament gelegt ist, wird die Lehre von der Diffusion keinen besondern theoretischen Fortschritt zu machen im Stande sein.

2. Diffusion einer Lösung in Wasser. Dieser Vorgang ist dem so eben geschilderten so analog, dass die Behauptung, alle

die Lösung erzeugenden Bedingungen unterstützen auch die freiwillige Verdünnung, keines besondern Beweises bedarf. Ueber einige der bei der Verdünnung eintretenden Erscheinungen haben wir durch Graham*) Aufschluss erhalten; sie beziehen sich insbesondere auf die Geschwindigkeit, mit welcher die Vertheilung der Lösung in das darüber geschichtete Wasser geschieht. Diese Geschwindigkeit ist abhängig a) von der besondern Natur des aufgelösten Stoffes. Denn alles Andere, und namentlich Berührungsfläche zwischen Wasser und Lösung, spezifisches Gewicht oder Procentgehalt an festem Stoff in der Lösung, und Temperatur gleichgesetzt wechselt die Diffusionsgeschwindigkeit (d. h. die in der Zeiteinheit in das Wasser diffundirte Gewichtsmenge des aufgelösten Stoffes) mit der Natur desselben. Wir heben hier aus den Beobachtungsreihen als für den Physiologen wichtig hervor, dass die Diffusionsgeschwindigkeiten des Na Cl zu der des Eiweises aus 16,6 pCt Lösungen sich = 19,2 : 1 verhielten; ferner unter gleichen Bedingungen die des Na Cl zu Stärkezucker wie 2,2 : 1; ferner die des Na Cl zu der des K Cl aus einer 9 pCt Lösung sich verhielt wie 1 : 1,2—. Dieses Verhältniss der Diffusionsgeschwindigkeiten scheint für dieselben Stoffe constant zu bleiben, wenn auch die Prozentgehalte der Lösungen in gleichem Verhältniss steigen und fallen. So fand Graham, dass sich die Diffusionsgeschwindigkeit einer 2,4 pCt, 6,6 pCt und 10,0 pCt Lösung von K O CO_2 zu einer 2,4 pCt 6,6 pCt; 10,0 pCt Lösung von Na O SO_3 verhielte wie 1 : 0,78; 1 : 0,79; 1 : 0,80; 1 : 0,77. Ebenso unter gleichen Umständen die des K O CO_2 : Na O CO_2 = 1 : 0,74; 1 : 0,75; 1 : 0,73; 1 : 0,68. — b) Die Diffusionsgeschwindigkeit ist ferner alles Andere, und namentlich die Natur des aufgelösten Stoffes, sein Prozentgehalt in der Lösung und die Berührungsfläche zwischen Wasser und Lösung gleichgesetzt, abhängig von der Temperatur in der Art, dass die Geschwindigkeit direkt proportional mit der steigenden Temperatur wächst.

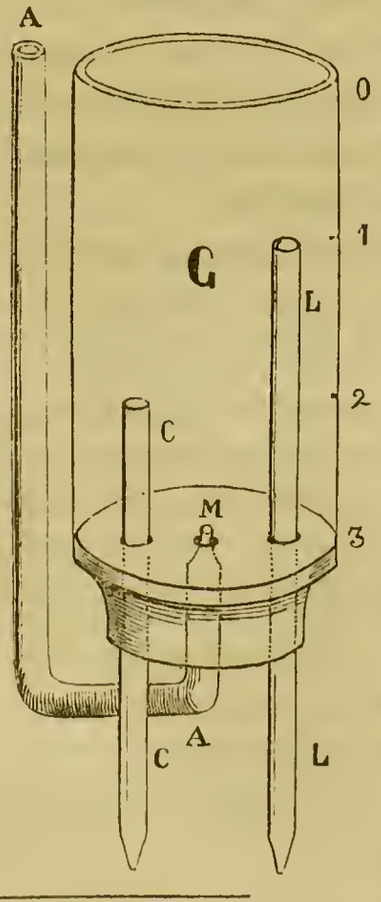
Zur Ermittelung der obigen Thatsachen bediente sich Graham folgender Methode. Er füllte ein kleines, mit einem Hals und abgeschliffenem oberem Rand versehenes Glasgefäss mit der Lösung und setzte es auf den Boden eines grösseren, welches ungefähr das fünffache Volum des kleinen fasste; unter Beobachtung mehrerer Vorsichtsmassregeln goss er darauf das grössere so weit voll Wasser, dass es den Rand des kleinern Gefässes um ungefähr 1 Zoll überragte, und überliess dann in einem Raum, der gleiche Temperatur hielt, die Lösung der Diffusion. Nach einer genau notirten Zeit schloss er das innere Gefäss mit einer Glasplatte und bestimmte die absolute Menge gelössten Stoffes, welche in das Wasser getreten war. — Diese Untersuchungsweise führt den Uebelstand mit sich, dass die Diffusion sehr bald nicht mehr zwischen Lösung und Wasser, sondern zwischen dichterer und dünnerer Lösung vor sich geht. Dieser Umstand verhindert unter Anderm, Gewicht zu legen auf die Behauptung Graham's, dass alles andere und namentlich Lösungsstoff, Temperatur, Zeit und Berührungsfläche gleichgesetzt, die Geschwindigkeit der Diffusion wachse wie der Procentgehalt der Lösung an festen Stoffen. Diese Behauptung würde

*) Liebigs Annalen 77. Bd. u. ibid. 80. Bd.

aus seinen Zahlen nur folgen, wenn er die Differenz der Procentgehalte im äussern und innern Gefäss constant erhalten hätte, oder wenn sie wenigstens bekannt wäre.

3. Gleichzeitige Lösung mehrerer festen Stoffe und Diffusion eines Lösungsgemenges in Wasser. Ueber gleichzeitige Lösung solcher Salze, welche sich nicht gegenseitig zersetzen, sind Beobachtungen von Karsten, Kopp*) u. s. w. vorhanden. Wir erfahren aus diesen Beobachtungen vorerst das theoretisch noch nicht verwendbare Resultat, dass die Maxima der Gewichtsmengen beider in Lösung tretenden Stoffe sich gegenseitig modifiziren können. — Graham hat die Frage in Angriff genommen, wie sich die Diffusion zweier in derselben Flüssigkeit gelösten Salze im Wasser verhalte. Er findet hier, dass die beiden Salze insofern unabhängig von einander diffundiren, als das mit einer grössern Diffusionsgeschwindigkeit begabte auch aus dem Gemenge rascher diffundirt als das, welches mit einer geringen Geschwindigkeit diffundirt. Diese Thatsache ist durch eine von mir angestellte Beobachtung dahin erweitert, dass die Adhäsion der beiden in Lösung befindlichen Salze nicht gross genug ist, um durch das Diffusionsbestreben nicht aufgehoben werden zu können. Aus den Graham'schen Versuchen geht jedoch noch weiter hervor, dass die in dem Gemenge vorhandenen Salze ihre Diffusionsgeschwindigkeit modifiziren. Denn aus einer Lösung, welche gleichzeitig von Na Cl und $Na_2O\,CO_2$ je 3,6 pCt (also 7,2 pCt im Ganzen) Salz enthielt, diffundirten in der Zeiteinheit 5,7 Gr. $NaO\,CO_2$ und 12,4 Gr. $NaO\,SO_3$, während in derselben Zeit aus einer 3,9 procentigen $NaO\,CO_2$ Lösung 7,3 Gr. und aus einer 3,9 procentigen Na Cl Lösung 11,0 Gr. austraten.

Fig. 5.



Zur Bestimmung der Diffusionserscheinungen der Salzgemenge benutzte ich einen Glascylinder (Fig. 5). *G*, dessen mit einem Kork verschlossener Boden von einer umgebogenen Glasröhre *AAM* durchbrochen war; diese Röhre mündet mit capillarer Oeffnung *M* gerade im obern Niveau des Korkes innerhalb des Cylinders. Ausserdem liefen durch den Boden noch mehrere Röhren *CC*, *LL* u. s. f. Diese Röhren stiegen im Cylinder bis zu einem bekannten Abstand vom Boden auf, und ihr freies, ausserhalb des Cylinders liegendes Ende war ausgezogen und zugeschmolzen. In den Cylinder wurde von oben Wasser gefüllt und dann in die freie Mündung des Rohres *AA* aus einer Pipette mit capillärer Mündung eine Lösung, welche gleichviel (wasserfreies) $NaO\,SO_3$ und Na Cl enthielt, eingelassen. Dieses Lösungsgemenge drang auf den Boden des Gefässes und hob das Wasser, ohne sich mit ihm zu mischen. Hierauf überliess man die Flüssigkeit im geschützten Raume von möglichst constanter Temperatur der Diffusion. Nach beliebiger, aber genau gekannter Zeit brach man darauf vorsichtig die Spitze des Rohres *LL* ab, aus welchem in feinem Strahl die Flüssigkeit von 0 bis 1 anslief, welche man gesondert auffing; dann öffnete

*) Siehe die Literatur mit Auszügen bei Gmelin Handbuch der Chemie IV. Aufl. 1. Bd. 525.

man ebenso das Rohr *CC* und erhielt die Flüssigkeit des Raumes 1 2 u. s. f. Dieser Versuch ergab, dass wenn das Na Cl in den Raum 0 1 schon in grosser Menge eingedrungen war, sich noch keine Spur von Glaubersalz in ihm fand, ein Resultat, welches obigen Ausspruch geradezu beweisst.

4. Diffusion zweier Lösungen ineinander. Auch diesen Fall hat Graham behandelt, indem er Lösungen von Na O CO_2 in Lösungen von Na Cl und Na O SO_3 diffundiren liess. Das Na O CO_2 trat in das Kochsalz in gleicher Menge wie in das Glaubersalz, aber in geringerer über als in reines Wasser.

5. Diffusion zwischen Lösungen, deren Lösungsmittel sich nicht mischen. Dieser Fall ereignet sich z. B. wenn Oele, welche Seifen, Galle u. s. w. aufgelöst enthalten, mit Wasser in Berührung kommen. Diese sehr bemerkenswerthe Modifikation des Versuchs ist nur in einem Falle von Brücke behandelt. Brücke wählte zu den Versuchen Aether, Wasser und Hg Cl. — Die Fortsetzung dieser Versuche verspricht vielseitige und wichtige Ausbeute für den Physiologen.

6. Diffusion von Flüssigkeiten in thierische Stoffe; Quellung, Imbibition. Es ist eine Eigenthümlichkeit vieler thierischen (und pflanzlichen) Stoffe, auf eine besondere Weise von Flüssigkeiten durchdrungen zu werden, wie wir schon p. 45. bei den Eiweisskörpern ausführten. Zu den dortigen Bemerkungen ist hier noch zuzufügen: Ein quellungsfähiger Stoff nimmt aus einer Flüssigkeit, in die er gelegt wurde, im Verlauf einer längern Zeit eine endliche Menge von Flüssigkeit auf, über welche hinaus keine weitere Aufnahme mehr stattfindet. Diese Menge nennt man das Quellungsmaximum; und insofern man das Gewicht oder Volum der aufgenommenen Flüssigkeit mit dem Gewicht oder Volum des aufnehmenden Stoffes vergleicht, erhält man das Quellungsverhältniss. Dieses Quellungsmaximum wechselt nun alles Andere gleichgesetzt mit der Natur der Flüssigkeit und derjenigen der Membran, in der Art, dass ein und derselbe Stoff in verschiedene Flüssigkeiten, Oel, Alkohol, Wasser gelegt, von jeder ein anderes Maximum aufnimmt, und umgekehrt, dass dieselbe Flüssigkeit in verschiedene Stoffe (Horn, Faserstoff, Colla u. s. w.) in einem anderen Verhältniss eindringt. Das Quellungsverhältniss, namentlich aber auch die Geschwindigkeit des Eindringens von Flüssigkeiten, ist jedoch nicht allein hievon, sondern wie schon früher erwähnt, auch noch von andern Umständen abhängig, indem ein und derselbe Stoff in ein und derselben Flüssigkeit in seinem Quellungsmaximum wechselt, je nach der Temperatur oder dem Grade der Austrocknung, in welchem sich der Stoff vor der beginnenden Quellung befunden hatte.

Die Quellung stellt sich insofern in die Reihe der Diffusionen als die Verbindung der Flüssigkeit und der festen Theile nicht nach atomistischen Gewichtsverhältnissen vor sich geht, und insofern als wir

schliessen dürfen, dass hier wie dort die Erscheinung durch eine Aneinanderlagerung der unveränderten Theilchen des festen und flüssigen Stoffes geschehe. So sehr wir uns nun auch über die besondere Art der Zusammenlagerung im Unklaren befinden, so dürfen wir doch behaupten, dass in den meisten der aufgequollenen Stoffe die eingesogene Flüssigkeit zum Theil in weiteren Poren, welche zwischen mehr oder weniger grossen Haufen von Molekeln vorhanden sind, sich eingelagert finde, zum Theil aber zwischen den Molekeln selbst gebettet sei. Diese Annahme einer solchen Lagenverschiedenheit gründet sich ebensowohl auf die Struktur der festen Stoffe als auf die Quellungserscheinungen selbst. Was ersteren Punkt, die Struktur der quellenden Stoffe, anlangt, so wissen wir, dass viele derselben sich aus Massen von gegenseitig mehr oder weniger inniger Cohäsion zusammensetzen; wir erinnern hier nur an die Gewebe des thierischen Körpers, welche eine Zusammenhäufung gleichartiger oder ungleichartiger Formelemente darstellen; die Verbindung der einzelnen Formelemente miteinander ist eine so lockere, dass man an die Gegenwart gröblicher sogenannter physikalischer Poren zwischen ihnen denken darf, während die zu einem der Formelemente zusammengeordneten Molekeln sich so innig verbinden, dass, wenn man hier überhaupt Poren statuiren will, sie nur als intermoleküläre bestehen können. Die Flüssigkeit dringt nun aber thatsächlich sowohl in den Raum zwischen die Formelemente als auch in diese selbst. In Uebereinstimmung mit dieser Betrachtung finden wir nun, dass die eingedrungene Flüssigkeit theilweise mit Leichtigkeit durch Zusammenpressen des gequollenen Stoffes zum Ausfliessen gebracht werden kann, während ein anderer Theil derselben den kräftigsten Druckwirkungen widersteht; ferner dass bei dem normalen Siedepunkt der Flüssigkeit ein Theil mit Leichtigkeit in Dampf verwandelt werden kann, während ein anderer erst bei höheren Temperaturen Dampfform annimmt.

Die Umstände, welche überhaupt Einfluss auf die Quellung üben, sind: a) die Verwandtschaft der Flüssigkeit zu den festen Stoffen; diese sehen wir ausgeprägt durch die Fähigkeit der trockenen Stoffe, die Dämpfe der Flüssigkeiten, von welchen sie imbibirt werden, in flüssiger Form in sich niederzuschlagen; oder mit einem Wort durch die hygroskopischen Eigenschaften der quellungsfähigen Stoffe, und weiter durch die Steigerung des Siedepunktes der aufgenommenen Flüssigkeiten(?).

Diese Eigenschaften hat man noch nicht als Maass zur Feststellung einer Verwandtschaftsscala angewendet. Ein anderes Maass, welches Liebig hierzu benutzt hat, ist das Quellungsmaximum und die Quecksilberhöhen, welche nöthig sind, um die Filtration der Flüssigkeit durch dünne Stücke von bekannter Dicke einzuleiten. Inwiefern hieraus ein solches gewonnen werden kann, ist aber vollkommen unklar und es dürften darum, so lange die Beziehung des Filtrationsdruckes und des Quel-

lungsmaximums zu der Verwandtschaft nicht fest steht, die Liebig'schen Zahlen für diesen Zweck werthlos sein.

b) Die Cohäsion der Molekeln des aufquellenden Stoffes; die Bedeutung dieses Einflusses ist von selbst klar, wenn man erwägt, dass der aufquellende Stoff durch die eingetretenen Wassermengen sein Volum ändert; damit also die Flüssigkeitstheilchen eintreten können, müssen sie die Theile der festen Stoffe auseinanderzerren. c) In Stoffen, welche aus einer Zusammenhäufung von Formelementen bestehen, ist für die in den Zwischenräumen der letzteren sich bildenden gröberen Poren von Bedeutung, die Gestalt und die daraus folgenden gegenseitigen Lagerungen, welche die aufgequollenen Formen annehmen. d) Die Cohäsion der Flüssigkeit, welche hier von ähnlicher Wirksamkeit sein muss als beim Aufsteigen derselben in Capillarröhren.

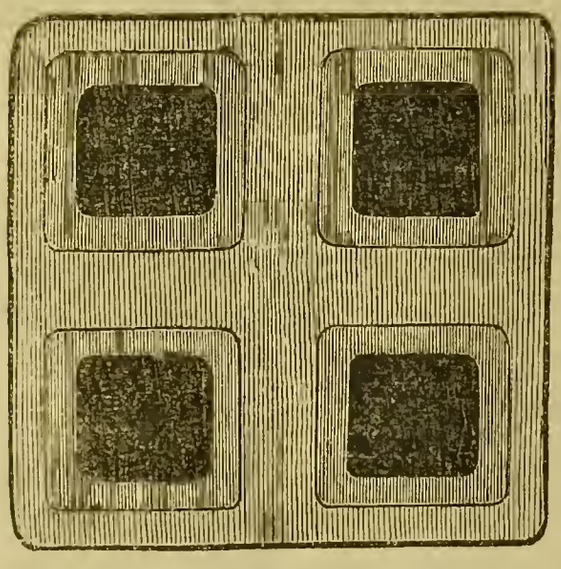
7. Diffusion von Lösungen und Lösungsgemenge in feste Stoffe. Die über diesen Punkt vorliegenden Untersuchungen beziehen sich nur auf wässerige Lösungen. Aus ihnen ergibt sich, dass alles Andere gleichgesetzt die Quellungsmaxima sich ändern mit der Natur und dem Procentgehalt des gelösten Stoffes. Liebig ermittelte u. A., dass 100 Gewichtstheile trockener Harnblase vom Ochsen vom Wasser 310 Gewichtstheile, von einer 9 pCt. Kochsalzlösung nur 288, von einer 13,5 pCt. Kochsalzlösung 235 und endlich von einer 18 pCt. Lösung desselben Stoffes 219 Gewichtstheile aufnahmen; und Cloetta fand, dass das Quellungsverhältniss (der Quotient aus dem Gewicht des festen Stoffes in das Gewicht der aufgenommenen Lösung) des trockenen und gereinigten Herzbeutels vom Ochsen für eine 5,4 pCt. Kochsalzlösung 1,35, für eine 24,3 pCt. Kochsalzlösung dagegen 1,01 betrug; und ebenso dass bei Anwendung derselben Membran das Quellungsverhältniss einer 5,5 pCt. Glaubersalzlösung 1,15, das einer 11,7pCt. Lösung aber nur 0,86 ausmachte. — Daneben zeigt sich aber die noch bemerkenswerthere Erscheinung, dass wenn eine trockene thierische Membran in eine Salzlösung getaucht wird, die in die Membran aufgenommene Lösung eine andere Zusammensetzung besitzt, als diejenige, welche dieselbe umspült. So nahm u. A. die gereinigte Harnblase des Ochsen, als sie in eine 7,2 pCt. Glaubersalzlösung gelegt wurde, eine Flüssigkeit auf, welche nur 4,4 pCt. Glaubersalz enthielt; dieselbe Membran durchtränkte sich, als sie in eine 19 pCt. Kochsalzlösung gelegt wurde, mit einer 16,5 pCt. Lösung. (Ludwig). — Cloetta, der diese Thatsachen weiter verfolgte, hat ermittelt, dass das Verhältniss der Dichtigkeit zwischen der in die Membran aufgenommenen und der sie umspülenden Lösung für Na Cl ein constantes ist, für Glaubersalz dagegen ein mit dem Procentgehalt der Lösungen an festen Stoffen wechselndes. So fand er u. A., dass ob man die Membran in eine 24,2 pCt. oder 5,4 pCt. Kochsalzlösung legt, der Procentgehalt der umspülenden Flüssigkeit zu dem der eingedrungenen sich verhielt wie 1 : 0,84

und 0,82; wendete er aber Glaubersalz als umspülende Flüssigkeit an, so verhielt sich bei einer 11,7 pCt. Lösung der Procentgehalt der innern zur äussern Flüssigkeit wie 1 : zu 0,39, und bei einer 4,8 pCt. umspülenden Lösung war dasselbe Verhältniss wie 1 : 0,57.

Durch diese Thatsache wird eine neue Analogie hergestellt zwischen Lösung und Quellung; denn wie bei gleichzeitiger Lösung zweier Salze das Lösungsmaximum der Flüssigkeit für das eine derselben beschränkt werden kann, so wird auch hier durch die Verwandtschaft der thierischen Stoffe zu dem eingedrungenen Wasser die Fähigkeit desselben, Salze zu lösen, beeinträchtigt.

Ohne diese Thatsachen zu kennen, erschloss Brücke mit einem seltenen Scharfsinn aus den Erscheinungen, welche sich bei der Berührung von Flüssigkeiten mit festen Stoffen ereignen und aus denen der sogenannten Endosmose, ihr Vorhandensein und stellte noch die weitere Behauptung auf, dass die an den Poren der Membranen aufgenommenen Lösungen so geordnet seien, dass in der unmittelbaren Nähe der festen Molekule eine salzärmere Flüssigkeit und in der Mitte der Poren eine salzreichere Flüssigkeit gelegen sein möchte, in der Art wie es das (Fig. 6) gegebene Schema ausdrückt, in welchem die dunklen Quadrate Molekeln oder Molekelmassen, die dunkleren Rahmen die salzarmen und die hellen Rahmen eine Flüssigkeit von der Zusammensetzung der die Gesammtmassen umspülenden darstellen. Der thatsächliche Beweis für diese Annahme ist dadurch geliefert worden, dass die durch Pressen aus der Membran erhaltene Flüssigkeit die Zusammensetzung der umspülenden besass (Ludwig). Dass diese Beobachtung in Wirklichkeit den verlangten Beweis liefert, ist sogleich verständlich, wenn man erwägt, dass durch Pressung nur die Antheile der aufgenommenen Flüssigkeit entfernt werden können, welche nicht durch die sie unmittelbar berührenden Porenwandungen festgehalten werden; besitzt nun in der That die in der Membran vertheilte Flüssigkeit einen niedrigern Procentgehalt, als die umspülende, und ist man ferner, wie angegeben, im Stande durch Pressen eine Lösung von der Zusammensetzung der umspülenden zu gewinnen, so muss offenbar der geringere Procentgehalt der ganzen aufgenommenen Flüssigkeit der mittlere sein zwischen einer nicht auspressbaren von viel geringerem Salzgehalt und einer auspressbaren von gleichem Salzgehalt wie die umspülende.

Fig. 6.



Diffundiren nun endlich gleichzeitig zwei Lösungen in eine Mem-

bran, so werden dadurch noch weitere Complicationen veranlasst werden, denn a) es werden bei Gegenwart wässeriger Lösungen durch die Verwandtschaften der Membranen, diejenigen der gelösten Stoffe zum Wasser in einer Weise beschränkt, welche nicht ableitbar ist aus dem bekannten Verhalten jeder Salzlösung für sich in der Membran. Den Untersuchungen von Cloetta verdanken wir den bemerkenswerthen Aufschluss, dass wenn man Stücke des Herzbeutels in eine Lösung legt, welche zugleich Kochsalz und Glaubersalz aufgelöst enthält, das Glaubersalz in geringerer Menge von der Membran aufgenommen wird, als wenn er aus einer Lösung für sich eingedrungen wäre. Diese Erniedrigung des Glaubersalzgehaltes wächst mit der Menge des gleichzeitig in der Lösung vorhandenen Kochsalzes. Folgende Zahlen geben die Belege für diesen Ausspruch. Wenn die Membran von einer Lösung umspült wurde, welche 10,5 pCt. NaCl und 5,1 pCt. $NaOSO_3$ enthielt, so trat eine Flüssigkeit in dieselbe, welche 9,1 pCt. NaCl und 1,8 pCt. $NaOSO_3$ enthielt; aus einer Lösung, welche dagegen 5,3 pCt. NaCl und 4,7 pCt. $NaOSO_3$ enthielt, drang eine Flüssigkeit in dieselbe Membran, in welcher sich 4,3 pCt. NaCl und 2,2 pCt. $NaOSO_3$ befanden. Als demnach 10,5 pCt. NaCl in der äussern Flüssigkeit vorhanden waren, verhielt sich der Procentgehalt der äussern und innern Glaubersalzlösung wie 1 : 0,35, und als nun 5,3 pCt. NaCl in der äussern Flüssigkeit vorkamen, verhielten sich die entsprechenden Glaubersalzlösungen wie 1 : 0,47. — b) Sehr häufig wird durch den Eintritt einer Flüssigkeit in eine Membran die Fähigkeit dieser letzteren aufgehoben gleichzeitig eine andere aufzunehmen; so schliesst u. A. die Gegenwart wässriger diejenige öliger Flüssigkeiten aus. Dieses Ausschliessungsvermögen der einen Flüssigkeit durch die andere, kann aber beseitigt werden, wenn in der einen von beiden ein Stoff gelöst wird, durch den die Adhäsion beider Flüssigkeiten aneinander ermöglicht ist. So dringt u. A. in eine mit Wasser durchdrängte Membran Oel ein, vorausgesetzt dass in dem Wasser Seifen oder gallensaure Salze gelösst waren (Ochlenowitz).

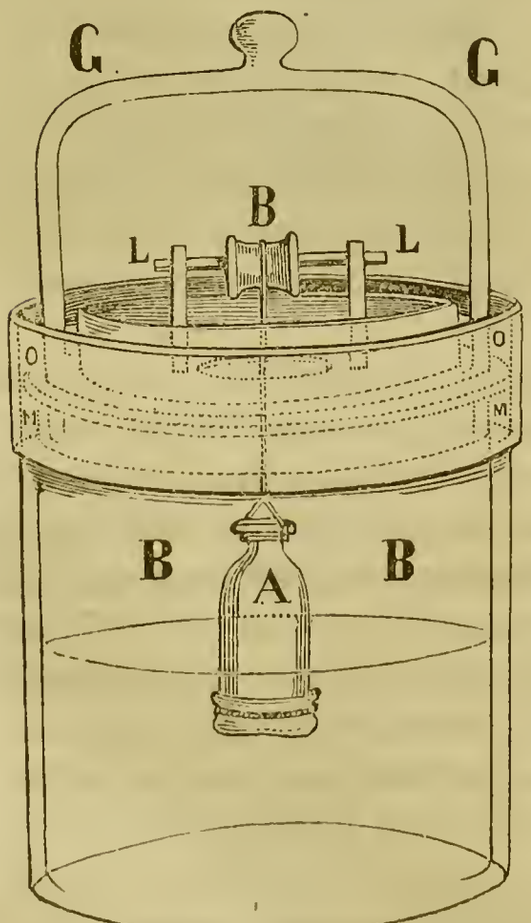
8. Diffusion zweier Flüssigkeiten ineinander, welche mittelst einer für sie durchgängigen Scheidewand getrennt sind. Endosmose. Die Bedingungen dieses Hergangs bestehen darin, dass zwei in irgend welcher Art verschiedene Flüssigkeiten durch eine (molekular oder grob) poröse Scheidewand getrennt sind, in welche eine oder beide Flüssigkeiten so eindringen können, dass sie sich innerhalb oder an der einen Grenze der Poren in unmittelbarer Berührung finden. Zugleich wird vorausgesetzt, dass eine etwa vorhandene Verschiedenheit des hydrostatischen Druckes, den die beiden Flüssigkeiten auf die Flächen der Scheidewand ausüben, nicht hinreicht, um bei dem Widerstand dieser letzteren als Bewegungsursache einer der beiden Flüssigkeiten angesehen werden zu können.

Die hervorragenden Erscheinungen, die unter diesen Umständen die Diffusion darbietet sind a) die beiden durch die Scheidewand getrennten Flüssigkeiten gleichen ihre Verschiedenheiten vollkommen aus, so dass gerade wie wenn die Scheidewand fehlte, der Diffusionsprozess nicht eher beendigt ist, als bis die Flüssigkeiten beiderseits vollkommen einander gleich sind. — b) Die Volumina der durch den Diffusionsstrom auf die beiden Seiten der Scheidewand beförderten Flüssigkeiten sind einander meist nicht gleich, oder mit andern Worten, die Diffusionsströme überwiegen an Stärke in der einen Richtung, diejenigen in der andern. — c) Die Geschwindigkeit, mit der zwei Flüssigkeiten durch die Scheidewand hindurch sich ausgleichen, ist eine andere als ohne Gegenwart derselben. — Die zuerst erwähnte Eigenschaft bedarf keiner besonderen Betrachtung, um so mehr aber die unter b und c erwähnten Eigenthümlichkeiten.

Um ein Maas für den ungleichen Werth der verschieden gerichteten Ströme zu erlangen (b) bedient man sich nach dem Vorgang von Jolly, der Verhältnisszahl zwischen den Gewichten der nach der einen und der andern Seite übergegangenen Flüssigkeitsbestandtheile: diese Verhältnisszahl führt den Namen des endosmotischen Aequivalents.

Methode zur Bestimmung des endosmotischen Aequivalents. Der Apparat mit dessen Hülfe diese Bestimmung vorgenommen wird, ist dargestellt durch zwei gläserne Gefässe, von denen das eine durch eine Membran, für eine Druckhöhe von mehreren Zoll wasserdicht verschlossen ist. Dieses letztere Gefäss, welches an der Stelle des Glasbodens eine Membran trägt, wird auf irgend welche Art in den Raum der andern jedoch so aufgehängt, dass es in diesem senkreckt auf und niedergelassen werden kann. Dieser Apparat muss zugleich noch so aufgestellt werden können, dass die in seinem Innern vorhandenen Flüssigkeiten vor Verdunstung bewahrt werden. Diese Bedingungen erfüllt die in Fig. 7 gezeichnete Vorrichtung. — *A* stellt das mit der Membran umbundene Gefäss vor; es ist mittelst eines Fadens an die Rolle *R* geheftet, welche sich mit den Zapfen in den Lagern *L* dreht. Diese Lager stehen auf dem blechernen Deckel des äusseren Gefässes, welches mittelst der Rinne *mm* auf das Glas gekittet ist; auf der oberen Fläche dieses Dekels findet sich noch eine zweite breitere Rinne *o o* angebracht, in welche die Glocke *G* einpasst. Wenn diese Rinne mit Wasser gefüllt wird, nachdem die Glocke aufgesetzt war, so sind die in *A* und *B* enthaltenen Flüssigkeiten abgesperrt. In das Innere beider Gefässe füllt man Flüssigkeit von bekanntem Gewicht und bekannter quantitativ und qualitativer Zusammensetzung; man überlässt sie darauf gegen-

Fig. 7.



seitiger Einwirkung, wobei man Sorge trägt, kleine Niveaudifferenzen im Stand der innern und äussern Flüssigkeit durch Herausheben oder Einsenken des Glases *A* auszugleichen, und bestimmt dann nach beliebiger Zeit welche quantitative und qualitative Veränderungen die Flüssigkeit des inneren Rohrs erlitten hat, wodurch auch die Data gegeben sind, um die Veränderungen der äussern Flüssigkeit zu berechnen. Hieraus fliesst von selbst, welche Stoffe von aussen nach innen, welche von innen nach aussen gingen und wie relativ kräftig diese Ströme gewesen waren.

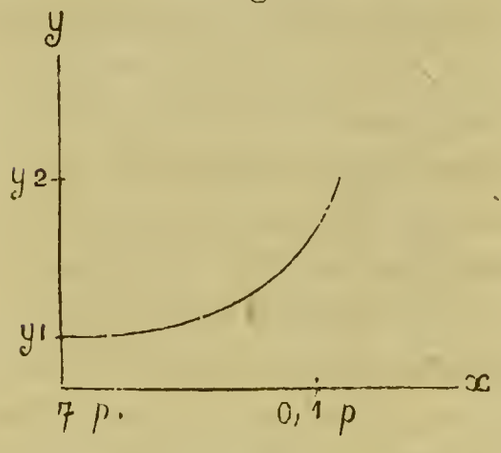
Die Erfahrung hat gelehrt, dass die Werthe der endosmotischen Aequivalente sich ändern mit dem Wechsel der Scheidewand (der chemischen und physikalischen Eigenthümlichkeit ihres Stoffes), mit quantitativen und qualitativen Veränderungen in der Zusammensezzung der Flüssigkeiten, und mit der Temperatur.

Bei so zahlreichen auf den Werth des Aequivalents influirenden Umständen gehört es begreiflich zu den Seltenheiten, dass zwei der Diffusion ausgesetzte Lösungen während der ganzen Dauer derselben, mit dem gleichen Verhältniss ihrer Gewichtsmengen in einander strömen. — Dieses wird sich nur ereignen, wenn unter Voraussetzung derselben Scheidewand auch während der ganzen Strömungsdauer die Temperatur constant bleibt und zugleich die durch den Diffusionsstrom erzeugten Veränderungen in der Zusammensetzung beider Flüssigkeiten durch andere Einflüsse wieder ausgeglichen werden. Wo dieses letztere geschehen ist, genügt um eine Vorstellung über den Werth des Aequivalents zu gewinnen, die einfache Angabe der Verhältnisszahl; wo aber, wie es meist der Fall, diesen Bedingungen eines constanten Stromes nicht Genüge geleistet werden kann, muss zur Angabe des absoluten Werthes eines der partiellen endosmotischen Aequivalente*) noch die des den Wechsel bestimmenden Gesetzes kommen. Um vollkommen verständlich zu werden wollen wir das Gesagte durch ein Beispiel erläutern. — In einer Versuchsreihe wurde als Scheidewand die mit Wasser Aether und Alkohol gereinigte Harnblase des Schweines angewendet; als diffundirende Flüssigkeiten dienten Glaubersalzlösung und Wasser; das Wasser welches sich im äussern Gefässe des Apparates (Fig. 7) befand, wurde so oft erneuert als nöthig, um niemals eine merkliche Spur von Glaubersalz sich in ihm anhäufen zu lassen. Es ergab sich, als in das innere Rohr Glaubersalzcrystalle gelegt wurden, und die Diffusion beendigt war bevor sämmtliche Crystalle gelösst waren, das endosmotische Aequivalent = 5,8 (die übergetretenen Gewichtsmengen des Glaubersalzes = 1 gesetzt) In einem zweiten Versuch wurden Glaubersalzcrystalle in die Röhre gelegt und die Diffusion unterbrochen, als die in der inneren Röhre enthaltene Lösung 3,8 pCt. betrug; das endosmotische Aequivalent wurde zu 6,7 gefunden. Bei einem dritten Versuch mit derselben Mem-

*) d. h. des Werthes, welchen das Aeq. besitzt, so lange noch keine merkliche Veränderung in den dasselbe bedingenden Umständen eingetreten.

bran wurde in das innere Rohr eine 5,1 pCt. $NaOSO_3$ Lösung gefüllt, und die Diffusion unterbrochen, als der Procentgehalt der Lösung auf 0,17 gesunken war, das Aequivalent fand man = 10,5. Viertens wurde in das eine Rohr eine 1,0 pCt. Glaubersalzlösung gefüllt und der Diffusion überlassen bis sie auf eine 0,1 procentige gesunken war, das E. Ae. betrug unter diesen Umständen 21,6. — Aus diesen Beobachtungen lässt sich nach bekannten Regeln annähernd berechnen, welchen Werth in jedem Momente das Aequivalent besass, als die Dichtigkeit der Lösung von ihrem bei der Beobachtungstemperatur möglichen Maximum bis auf 0,1 pCt. herabfiel. Construirt man diese Werthe auf ein Ordinatensystem, auf dessen x Achse nach einer beliebigen Längeneinheit die fortlaufenden Procentgehalte und auf dessen y Achse die fortlaufend sich verändernden Aequivalente aufgetragen sind, so erhält man die Curve des Aequivalents, bezogen auf den Wechsel der Dichtigkeiten. Für die oben gegebenen Beobachtungen würde ihre Gestalt annähernd wie in Fig. 8 ausgefallen sein, vorausgesetzt dass vom O Punkt der Ordinaten auf x das Maximum der Dichtigkeit aufgetragen worden wäre. Setzen wir voraus dieses Dichtigkeitsmaximum habe 7 pCt. betragen, so würde y^1 das erste Partialaequivalent und y^2 das letzte Partialaequivalent gewesen sein, zwischen denen unendlich viele in der Mitte liegen. Kann nun aber, wie dies leider meist der Fall ist, auch das Gesetz dieses Wechsels nicht angegeben werden, sondern nur die Zahl für das endosmotische Aequivalent, welche hier die mittlere ist zwischen ihren verschiedenen Werthen, so muss, wenn diese Angabe eines mittlern Aequivalents vergleichbar mit andern sein soll, mindestens der Zusatz geschehen, zwischen welchen Grenzen der Dichtigkeit, Temperatur u. s. w. sich die Beobachtung bewegte.

Fig. 8.



Von den wichtigern das endosmotische Aequivalent betreffenden Thatsachen sind nun nachfolgende vorzuführen:

1. Unter gleichen Umständen sind die mittlern Aequivalente bei Anwendung verschiedener Häute, wie des Herzbeutels und der Harnblase, nicht gar zu abweichend von einander gefunden worden; wir fügen einige derselben bei.

Scheidewand.	Diffundirende Stoffe.			Endosm. Aequiv.	Beob.
	Einerseits		Anderseits		
	zu Beginn der Diffusion.	zu Ende der Diffusion.	zu allen Zeiten der Diffusion.		
Harnblase d. Schweins	Na Cl crystall	Wasser	Wasser	4,0	Jolly
idem	id.	Na Cl lösung v. 10,06 p. C.	idem	4,3	Ludwig
idem	Na Cl lösung v. 4,9 p. C.	Lösung v. 0,275 p. C.	idem	1,4	—
Herzbeutel d. Ochsen	Na Cl cryst.	Lösung v. 1,55 p. C.	idem	5,4	Cloetta
idem	Na Cl lösung v. 5,5 p. C.	Lösung v. 0,36 p. C.	idem	3,6	—
idem	Na O SO_3 crystall	Lösung v. 1,6 p. C.	idem	9,8	—
idem	Na O SO_3 lösg. v. 1,1 p. C.	Lösung v. 0,28 p. C.	idem	7,5	—
Harnblase d. Schweins	Na O SO_3 crystall	Wasser	idem	11,0	Jolly
idem	Ka O SO_3 crystall	idem	idem	12,7	—
idem	Ka O HO lösg. v. 5,2 p. C.	idem	idem	200,0	—
idem	SO_3 HO lösg. v. 3,1 p. C.	idem	idem	0,39	—
idem	Zuckerlösung v. 4,1 p. C.	idem	idem	7,2	—
idem	Alcohollösg. v. 4,0 p. C.	idem	idem	4,1	—

2. Wie sich aber der vorstehenden Tabelle gemäss mit dem Procentgehalt der dem Wasser gegenüber gesetzten Salzlösung das Aequivalent ändert, so ist es auch für denselben Stoff einer Aenderung unterworfen, wenn statt der des Wassers ihm selbst eine Salzlösung gegenüber gesetzt wird. Siehe hierüber das Nähere bei Ludwig und Cloetta.

3. Nach Beobachtungen von Matteucci und Cima sollen die möglichst frischen thierischen Häute bei Anwendung gleicher Flüssigkeiten ein anderes Aequivalent erwirken, als die welche aus schon längere Zeit verstorbenen Thieren genommen sind; — zudem soll noch das Aequivalent für dieselbe Membran wechseln, je nachdem man die eine oder andere Seite dem Wasser oder der Salzlösung gegenüber setzt. Diese Thatsachenreihe wird noch bezweifelt. S. Berliner physik. Jahresbericht für 1845 l. c.

4. Cloetta hat in einer sehr genau geführten Versuchsreihe ermittelt, dass die Diffusion zweier chemisch sich nicht zersetzender Salze, z. B. Na Cl und Na O SO_3, wenn sie aus einer und derselben Flüssigkeit geschehen, sich nicht störe, so dass das Aequivalent eines Salzgemenges aus dem bekannten Aequivalente der in ihm vorhandenen Salze berechnet werden kann.

Zur Theorie des endosmotischen Aequivalents. Um zu einer wissenschaftlichen Begründung der Erscheinung zu gelangen, dass nach der einen Richtung durch die Membran ein stärkerer Strom geschieht als nach der andern, wäre es vor

Allem nothwendig zu wissen, wie sich die Volumina zweier in einander diffundirender Substanzen verhalten, wenn sie ohne Scheidewand neben einander geschichtet sind. Hierüber gibt uns aber weder die theoretische Betrachtung Aufschluss, noch der Versuch. Denn setzen wir voraus, es bestehe z. B. bei Berührung von wässeriger Salzlösung und Wasser eine Anziehung zwischen Wasser und Salzwasser, so würden wir uns an der Grenze beider Flüssigkeiten zwei gleich mächtige, nach entgegengesetzten Richtungen wirkende Kräfte vorstellen dürfen, gleich mächtig, weil offenbar die Anziehung des Wassers zum Salzwasser so gross gedacht werden muss, als die des Salzwassers zum Wasser. Das Volum der Flüssigkeit, dasjede dieser Kräfte über die Grenze (und zwar entweder in das zum Theil festgestellte Salzwasser oder in das Wasser) zöge, würde direct proportional sein der Verwandtschaft der Flüssigkeit zu einander, und umgekehrt proportional der Cohäsion und dem spezifischen Gewichte jeder einzelnen Flüssigkeit. So einfach kann aber der Hergang nicht aufgefasst werden, weil durch die Versuche von Cloetta und Graham über Lösungsgemenge die Behauptung von Brücke: dass die Anziehung nicht zwischen Salzlösung und Wasser, sondern zwischen Salz und Wasser bestehe, bewiesen ist. Nehmen wir unter dieser Voraussetzung an, es berühre sich trockenes Salz und Wasser, und es löse sich z. B. das Salz nur in wenigstens 10 Theile Wasser, so müssten, ganz abgesehen von der Cohäsion u. s. w., mindestens für 1 Gewichtstheil Salz, welches über die Grenze in das Wasser tritt, 10 Gewichtstheile Wasser in das Salz treten, da die anziehenden Kräfte nicht über das Verhältniss von $^1/_{10}$ (1 : 10) steigen können; denn es stellen die Zahlen 1 und 10 die sich anziehenden Einheiten vor. Der Versuch gibt aber natürlich keinen Aufschluss, da die Schwere die aus ungleichen Strömen hervorgehenden Niveaudifferenzen der sich unmittelbar berührenden Flüssigkeiten jeden Augenblick ausgleicht und somit die auf das Volum bezüglichen Folgen der Diffusionsströme verwischt. Dieser letztere Umstand wird nun allerdings vermieden, wenn zwischen die Flüssigkeiten eine Scheidewand geschoben wird, welche von so engen Capillarröhren durchzogen ist, dass in beträchtlichen Zeiten durch nicht allzuhohe hydrostatische Drücke keine merklichen Flüssigkeitsmengen durch dieselben hindurchgepresst werden können. Dieser Fall ist nun allerdings in der Endosmose verwirklicht, zugleich aber sind neue Complicationen eingeführt; denn einmal ändern sich die Berührungsflächen von Wasser und Salzlösung, da, wie wir gesehen, jedes der Scheidewand angehörige Molekül von einer Schicht Wasser umgeben ist (siehe Fig. 6.), somit immer die dem Salzwasser zugekehrte Wasserfläche beträchtlicher ist, als die dem Wasser zugekehrte Salzlösungsfläche. Obwohl es nun gelingt, das Verhältniss dieser Flächen festzustellen, so würde es dennoch werthlos sein, mit Hilfe desselben die theoretischen Betrachtungen fortzuführen, so lange nicht bekannt ist, ob die in der Mitte der Poren liegende Flüssigkeitsschicht dieselbe Beweglichkeit besitzt wie die an den Wänden haftende. — Siehe die bisherigen theoretischen Betrachtungen hierüber in den Abhandlungen von Brücke, Jolly und Ludwig.

Der Zeitraum, welcher nothwendig, damit zwei von einer Scheidewand getrennten Flüssigkeiten ihre chemischen Differenzen ausgleichen, ist im Allgemeinen grösser, als wenn eine solche fehlt. Die Richtigkeit dieser Behauptung ist ohne weiteres klar, indem die Ströme in so engen Poren offenbar Wiederstände erfahren, die ohne jene nicht vorhanden sind. In diesem Sinne kann auch noch zugefügt werden, dass alles andere gleich gesetzt die Ausgleichungszeit der Lösungsunterschiede mit der Dicke der Membran respect. der Länge der Poren wächst. — Ausser diesen selbstverständlichen Dingen ist aber noch weiter zu bemerken 1) die Ausgleichungsdauer ist abhängig von dem Werthe des endosmoti-

schen Aequivalents (Jolly). Der innige Zusammenhang der zwischen der Ausgleichungsdauer und dem endosmotischen Aequivalent besteht, leuchtet ein, wenn man bedenkt, dass dieses letztere nichts anderes ist, als ein Ausdruck für die überwiegende Richtung des einen Stroms, und weiter, dass die Ausgleichung niemals durch den einseitigen, sondern immer nur durch den doppelseitigen Strom geschehen kann. Ist also das endosmotische Aequivalent ein grosses, d. h. geht der Strom überwiegend einseitig, so wird wohl alles andere gleichgesetzt die Flüssigkeit, in welche diese Strömung geschieht, durch die andere stark verdünnt werden, aber die Ausgleichung dennoch sehr langsam geschehen. — 2) Die in gleicher Zeit sich gegenseitig austauschenden Flüssigkeitsmengen sind, alles andere gleichgesetzt, um so beträchtlicher, je grösser die chemische Differenz der beiden einander entgegenstehenden Flüssigkeiten ist. Demgemäss wird z. B. bei einer Entgegensetzung von Wasser und Lösungen, die Stärke der Ströme wachsen mit dem Gehalt dieser letztern an festen Stoffen (Vierordt). Keinenfalls aber kann dieses Wachsthum beider Erscheinungen ein direkt proportionales sein, und zwar darum nicht, weil das endosmotische Aequivalent mit der Conzentration selbst wechselt. — 3) Die einzelnen in einem Lösungsgemenge enthaltenen Salze gleichen sich, wenn sie reinem Wasser gegenübergesetzt werden, mit diesen in annähernd derselben Zeit aus, als wenn jedes einzelne für sich unter sonst gleichen Umständen dem Diffusionsstrome ausgesetzt gewesen wäre; die Ausgleichungsdauer des langsamer diffundirenden Salzes scheint im Gemenge jedoch um etwas vergrössert zu werden (Cloetta).

Die Bedeutung der unter dem Namen Diffusion zusammengefassten Phänome ist für den Lebensvorgang eine sehr verschiedenwerthige. — Unter den Gasdiffusionen scheinen von besonderer Wichtigkeit nur der Austausch der Gase durch feuchte Scheidewände und die Absorption zu sein; denn nur für diese Vorgänge finden sich die Bedingungen vorzugsweise im Thierkörper verwirklicht; auf ihnen ruht namentlich die Funktion der Athmung. In dieser Beschränkung wirken aber die Gasdiffusionen ausserordentlich eingreifend, weil eines der wesentlichsten und zugleich das in grösster Menge genossene Nahrungsmittel gasförmiger Sauerstoff ist und der thierische Körper in seinem lebendigen Zustand grösstentheils in zwei gasförmige Produkte, in Kohlensäure und Wasserdampf, zerfällt. — Unter den verschiedenen Hydrodiffusionen erlangen im Thierleib eine vorwiegende Geltung, die Lösung, die Quellung und die Endosmose. Denn die Mischungen von Flüssigkeiten, die sich ohne Scheidewand berühren, geschehen wohl schwerlich durch einfache Diffusion, sondern vielmehr mittelst der Erschütterungen, denen alle thierische Theile fortwährend ausgesetzt sind. Die Bedeutung der Lösung erhellt dagegen sogleich, wenn man erwägt, dass wir stets feste Massen geniessen, dass diese in Blut, also in eine Flüs-

sigkeit umgewandelt werden, und dass sie aus diesem sich wieder fest niederschlagen um die sogenannten Gewebe zu bilden; diese Gewebe werden aber schliesslich wieder in Harn, Schweiss, Lungen- und Hautdunst verwandelt, was wiederum nur durch einen Lösungsprozess geschehen kann. Die Quellung und die Endosmose sind aber nicht minder allgemeine Vorgänge als diejenigen der Lösung; denn mit ganz untergeordneter Ausnahme verharren alle festen thierischen Theile während der ganzen Dauer ihres Bestehens in gequollenem Zustand, und in diesem gequollenen Zustand dienen sie als Scheidewände zur Trennung der verschiedenartigsten Flüssigkeiten. So wurde es möglich, im thierischen Körper ein Röhrensystem darzustellen, in welchem eine Flüsigkeit kreisst, die trotzdem dass sie einen beträchtlichen Druck gegen die Wandungen von innen nach aussen übt, dennoch unter Umständen mehr von einer das Röhrensystem umspülenden Flüssigkeit aufnimmt, als sie in letztere ausströmt. Hiedurch wurde es ferner möglich, aus ein und demselben Lösungsgemenge bald diesen und bald jenen gelösten Stoff mit Ausschliessung aller übrigen austreten zu lassen, ohne Anwendung anderer Hilfsmittel als der Gegenwart verschiedentlich quellungsfähiger Scheidewände, indem diese bald dem einen und bald dem andern der gelösten Stoffe den Durchtritt durch sich erlauben oder verwehren. Offenbar liegt also in dieser wichtigen Einrichtung der Schlüssel zur Erklärung der verschiedenartigsten Ausscheidungen aus dem überall nahezu gleichartigen Blute. Bei dieser hohen Bedeutung der Hydrodiffusion ist es um so mehr zu bedauern, dass gerade die dem Leben wichtigsten Flüssigkeiten und Membranen noch nicht auf ihre Diffusionseigenschaften untersucht sind.

Dritter Abschnitt.

Physiologie des Nervensystems.

I. Allgemeine Nervenphysiologie.

A. *Physiologie der Nervenröhren.*

Anatomische Beschaffenheit*). Die frische Nervenröhre erscheint optisch vollkommen gleichartig; durch physikalische und chemische Hilfsmittel gelingt aber die Zerlegung derselben in verschiedene Formbestandtheile. Mit Rücksicht auf die bei diesen Zerlegungen hervortretenden Formen theilt man die Nervenröhren in markhaltige und marklose. Die erstern erscheinen zusammengesetzt aus einer sehr zarten Röhrenwandung (Scheide), einem flüssigen, der Scheide unmittelbar anliegenden Mark und einem in dieses letzte eingebetteten bandartigen Streifen (Achsenfaser). Die letztern zerfallen dagegen nur in eine Scheide, welche zuweilen mit Kernen besetzt ist, und in Achsenfasern, so dass ihnen zum Unterschied von den vorigen das Mark fehlt.

Ob die erwähnten Formbestandtheile dem Nerven auch beim unverletzten Zustand eigen sind, und namentlich ob die markhaltige Nervenröhre auch lebend nur aus Scheide und Mark, oder aus Scheide, Mark und Achsenfaser besteht, wird natürlich entschieden sein, wenn man die Achsenfaser im lebenden Nerven sichtbar gemacht hat. Ohne dieses kann man dieselbe immer als ein (das Absterben des Nerven bedingendes) Gerinnungsprodukt ansehen, das seine regelmässige Form der Röhre, innerhalb deren es gerinnt, verdankt. — Würde sich die Anwesenheit der Achsenfaser im lebenden Nerven nicht bestätigen, so würden wahrscheinlich auch die Unterschiede der marklosen und markhaltigen Röhre wieder aufgegeben oder der Unterscheidung wenigstens anders ausgesprochen werden müssen, indem man dann auch während des Lebens in dem marklosen Nervenrohr einen flüssigen Inhalt anzunehmen gezwungen wäre. Das Fehlen oder Vorhandensein des Marks bezieht sich entweder auf den ganzen Verlauf einer Röhre oder nur auf Stücke derselben, indem in ein und derselben Röhre markhaltige Stellen mit marklosen abwechseln; so verliert u. a. zuweilen das sogenannte centrale oder auch das periphere Ende das Mark. — Die Grösse des Röhrendurchmessers wechselt sehr beträchtlich und zwar sowohl im Verlauf derselben Röhre als auch in den verschiedenen Röhren eines in gleicher Weise thätigen Nerven, so dass die Thatsachen den Werth nicht rechtfertigen, den man auf den Wechsel der Durchmesser gelegt hat.

---

*) Kölliker, Mikroskopische Anatomie II. Bd. a. 391 u. f.

Chemische Beschaffenheit*). Die chemische Substanz der Scheide soll elastischer Stoff sein (Mulder), man schliesst das aus ihrem Verhalten gegen Kalien und Säuren; der Achsencylinder soll aus einem eiweissartigen Stoff bestehen (Kölliker), und ebenso enthält das Mark eiweisshaltige Stoffe in Lösung (Lehmann). Ausserdem hat man aus der weissen Hirnsubstanz gewonnen: Olein, Oleophosphorsäure, Oelsäure; Margarinsäure, Cerebrinsäure, Cholestearin (Fremy). Glycerinphosphorsäure (Gobley). — Ueber die besondere Lagerung dieser Fette und ihr Verhalten zu den übrigen Bestandtheilen des Nerveninhalts ist nichts bekannt.

Leistungen des Nervenrohrs. Ein Gebilde, das wie das vorliegende in Form und Atomistik verwickelt ist, wird zu zahllosen Leistungen befähigt sein, sei es, dass man es sich selbst überlässt, oder dass man es in Umstände führt, in denen es einen Eingriff in das Bereich der in ihm vorgehenden Anziehungen erfährt; zu Leistungen, deren Folgen sich entweder innerhalb des Gebildes beschränken, oder sich jenseits seiner Grenzen erstrecken. Von dieser unendlichen Schaar möglicher Kraftäusserungen sind bis dahin aus leicht begreiflichen Gründen nur wenige ein Gegenstand der Aufmerksamkeit gewesen. Zuerst hat sich dieselbe vorzugsweise nur den Erscheinungen zugewendet, welche der Nerv veranlassen kann in einigen Organen, mit welchen er in fertigen und lebenden Thierkörpern in normaler Verbindung steht, namentlich mit den Veränderungen, welche er in den empfindlichen Provinzen des Hirns, in den Muskeln und Drüsen herbeiführt, indem er die Acte der Empfindung, Bewegung und Absonderung anregt. Diese Aeusserungen unseres Gebildes führen von Alters her den Namen physiologischer Nervenfunctionen. Neben diesen hat die neueste Zeit noch eine andere Reihe von Aeusserungen der Nerventhätigkeit in genauere Betrachtung gezogen, nämlich diejenigen, welche sie auf eine unter besondern Umständen aufgehängte Magnetnadel zu üben vermag. Wir wenden uns nun zunächst zur Betrachtung dieser letzteren, den electrischen Leistungen oder Eigenschaften des Nerven, theils weil sie schärfer greifbar sind, theils weil sie uns einen tieferen Blick als alle übrigen in die innern Verhältnisse des Nervenrohrs erlauben, und endlich weil sie uns die Betrachtung der physiologischen Eigenschaften sehr erleichtern, da beide Erscheinungsreihen, so weit wir wissen, einander durchaus parallel gehen, wie sich von vorneherein sogleich dadurch ankündigt, dass beide nur dem lebenden Nerv eigen sind.

Electrische Eigenschaften. Die zahlreichen und wichtigen Aufschlüsse, die wir in diesem Gebiete erhalten haben, verdanken wir einzig und allein du Bois-Reymond, der seine Beobachtungen und Schlüsse in einem Werke **) niedergelegt hat, das durch Tiefe und Reich-

*) Lehmann physiologische Chemie III. 114.

**) Untersuchungen über thierische Electricität I. u. II. Bds. 1. Abth. Berlin 1848 u. 1849.

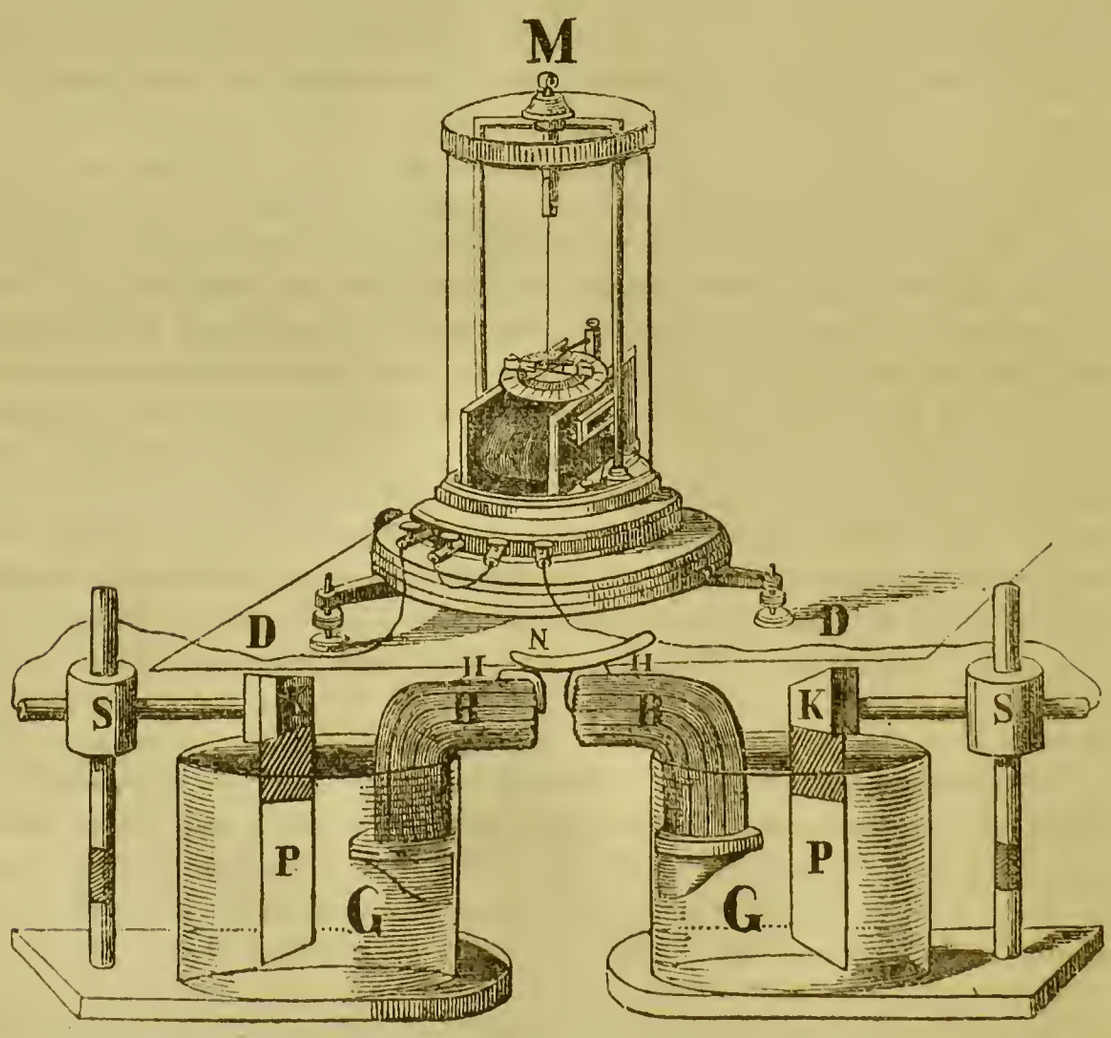
thum des Gedankens und durch Umfang der Bemühungen in der physiologischen Litteratur den ersten Rang einnehmen dürfte.

1. Hilfsmittel der Untersuchung. Zur Erforschung der electrischen Eigenschaften des Nervenrohrs bedient man sich des elektrischen Multiplikators und des stromprüfenden Froschschenkels. Der Multiplikator gewährt den Vortheil, die Gegenwart sehr schwacher electrischer Ströme nachzuweisen und zugleich sichern Aufschluss über die Richtung derselben und über ihre in grösseren Zeiten wechselnde Stärke (über das Steigen und Sinken ihrer Intensität) zu geben. Ist der Multiplikator graduirt, so kann durch ihn sogar ein absolutes Mass der durch seine Drähte strömenden Electricitätsmengen erhalten werden. Der Froschschenkel ist nun zwar wegen wechselnder Erregbarkeit von nicht so sicherer Feinheit als der Multiplikator, er zeigt ferner nur Veränderungen in den Intensitäten des Stroms, aber keine mit gleicher Intensität anhaltende Ströme an, er ist endlich nur selten brauchbar um die Stromesrichtung anzugeben, aber dennoch ist er von unschätzbarem Werthe, weil er vermöge der Leichtigkeit, mit der er im Gegensatz zur trägen Multiplikatornadel den electrischen Anregungen Folge leistet, noch die Gegenwart sehr kurz dauernder oder ausserordentlich rasche Veränderungen länger dauernder Ströme angibt.

Um die Fehler, welche der Multiplikator einführen kann, zu vermeiden, und alle Vortheile, die er zu bieten vermag, zu geniessen, muss 1) der Multiplikator möglichst empfindlich gemacht werden. Dieses geschieht theils durch Anwendung möglichst vollkommener astatischer Nadeln, theils durch die beträchtliche Zahl von Drahtwindungen, die um die Nadel gelegt werden. Du Bois verlangt für Untersuchung der Nervenelectricität wenigstens 11000 Umgänge eines feinen, möglichst eisenfreien Kupferdrahtes. Die Länge des sehr feinen Drahtes kann am Multiplikator für thierisch electrische Zwecke so beträchtlich genommen werden, weil die feuchten thierischen Theile einen so mächtigen Widerstand in den Kreiss einführen, dass dagegen immer noch derjenige des Drahtes verschwindet, also auch keine weitere Schwächung der Stromstärke bedingt. 2) Stellt sich die Aufgabe, in den Kreis keine Ungleichartigkeiten zu bringen, welche selbst Quellen einer electrischen Strömung sind; mit andern Worten, es muss die Nadel des Multiplikators vollkommen in Ruhe bleiben, so lange die Enden des Drahtes in eine indifferente gleichartige Flüssigkeit tauchen. Dieses bewerkstelligt du Bois dadurch, dass er die beiden Enden der Multiplikatorendrähte mit Platinblechen in Berührung bringt, welche durch chemische Mittel, die eine Reinigung der Oberfläche bedingen, beiderseitig möglichst gleichartig gemacht werden. Diese Bleche tauchen in unveränderter Stellung in zwei Becher mit concentrirter Kochsalzlösung, und sind noch besonders an den ausserhalb der Flüssigkeiten gelegenen Abschnitten überfirnisst, um bei Bewegungen der Flüssigkeit keine neue Metalloberflächen mit ihr in Berührung zu bringen. In die Becher werden ausserdem Bäusche von Fliesspapier, die mit gesättigter Kochsalzlösung vollkommen durchtränkt sind, eingesenkt; die freien Enden dieser Bäusche, die aus der Flüssigkeit hervorragen, werden durch einen dritten mit Kochsalzlösung durchtränkten Bausch geschlossen. In diesem Zustande muss der Multiplikator, bevor er zu den Versuchen benutzt wird, so lange geschlossen bleiben, bis alle Ungleichartigkeiten in dem Kreise ausgeglichen sind. Ist aber der Kreis statt des einfachen Schliessungsbausches einmal, wenn auch während noch so kurzer Zeit,

durch eine Elektrizitätsquelle geschlossen gewesen, so dass ein Strom durch die Kochsalzlösung zu den Platinblechen u. s. w. gegangen ist, so wird nach neuer Schliessung durch den indifferenten Bausch eine Ablenkung der Nadel, oder anders ausgedrückt, eine elektrische Ungleichartigkeit in dem Kreise zurückbleiben. Diese Ungleichartigkeit ist bedingt durch die Wasserstoff und Sauerstoffatome, welche von dem Wasser zersetzenden elektrischen Strom frei gemacht, die Platinoberflächen überziehen (Ladung, Polarisation); diese Ladung ruft bekanntlich jedesmal einen Strom nach einer Richtung hervor, die entgegengesetzt von der Ladungserzeugenden Strömung verläuft. Die Einrichtungen des Multiplikatorenkreises müssen nun so gestaltet sein, dass auch diese Ladungen möglichst rasch verschwinden, was aus bekannten Gründen dann geschieht, wenn die Platinenden mit einer grossen Oberfläche in den geschlossenen Kreis tauchen und ausserdem die Widerstände diesss letzteren möglichst gering werden, d. h. wenn die leitende Flüssigkeitsschichte eine möglichst geringe Länge und einen möglichst grossen Querschnitt bietet. Darum nähert du Bois seine grossen Platinbleche den Bäuschen sehr an und wendet einen breiten Schliessungsbausch an, der in ausgiebiger Berührung mit beiden andern steht. Endlich 3) darf durch die Berührung der thierischen Theile mit den flüssigen Multiplikatorenenden (den Bäuschen) keine neue, in den Nerven nicht schon enthaltene Elektrizitätsquelle gesetzt werden. Obwohl nun dieses durch die Berührung des Kochsalzes mit den Nerven nicht geschieht; so darf der Nerv dennoch nicht unmittelbar auf die Bäusche gelegt werden, weil das eindringende Kochsalz ihn rasch zerstören würde. Darum legt du Bois, bevor er die Nerven einschaltet auf jeden Bausch ein Stückchen Harnblase des Schweins, das vorher aufs innigste mit Hühnereiweiss durchfeuchtet worden ist. Von diesem hier geschilderten Apparat gibt die Fig. 9 eine Vorstellung; die Vorrichtung ist in dem Zustande der Schliessung durch den Nerven dargestellt.

Fig. 9.

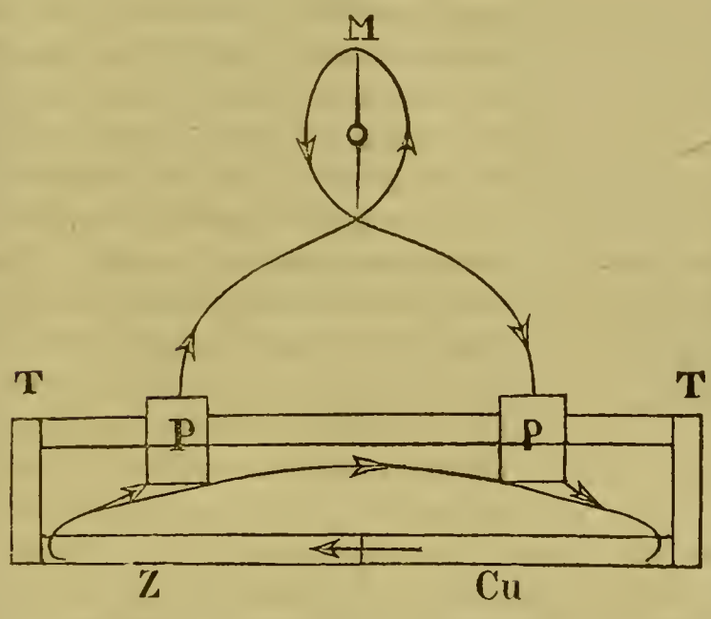


N bedeutet den Nerven, *H H* die mit Eiweiss durchtränkten Häutchen, *B B* die Bäusche, *G G* die Becher, welche bis nahe zum Rand mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllt sind; *P P* die Platinbleche deren oberer (schräg schraffirter) Theil gefirnisst ist und die mit blanken Enden in die Metallklemmen *K K* gehen. Diese Klemmen sind an dem metallischen Ständer *S S* befestiget, dessen senkrechte Stücke durch eingeschobene Glascylinder (die schräg schraffirten Theile) vom Boden isolirt werden. Aus dem horizontalen Arm des Ständers führt endlich der Zuleitungsdraht *D D* zum Multiplikator *M*, dessen Construktion als bekannt vorausgesetzt wird.

Das Genauere über die Einrichtung und Handhabung dieses Apparates siehe bei du Bois I. Bd. 161 u. f.

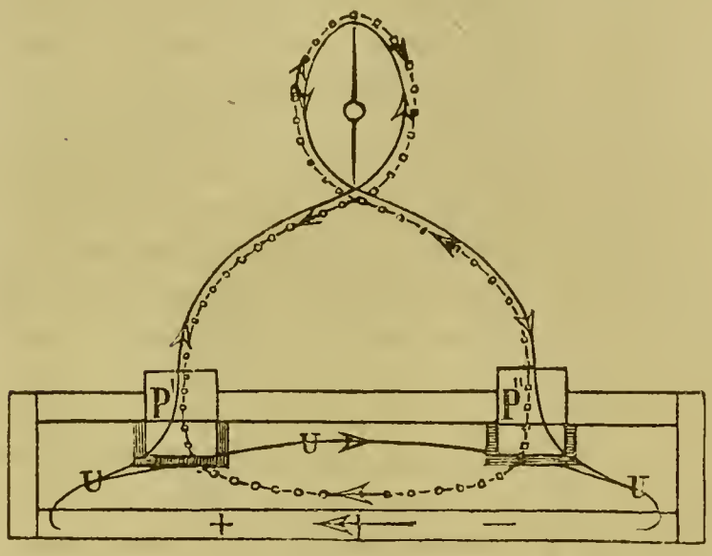
Die Bedeutung welche dem Multiplicator als Messinstrument zukommt, bedarf noch einer weiteren Auseinandersetzung; um sie zu veranschaulichen wenden wir uns sogleich zur Betrachtung eines Beispiels, das als ein Schema der Nerven in elektrischer Beziehung angesehen werden kann. Zu diesem Behufe denken wir uns es sei (Fig. 10) auf dem Boden des Troges *T T* ein aus Kupfer Cu und aus Zink *Z* zusammengelöthete Platte angebracht und es sei dieselbe darauf mit einer leitenden Flüssigkeit übergossen worden. In diesem Fall werden durch die Flüssigkeit elektrische Ströme dringen von dem positiven zu dem negativen Metall, in der Richtung, welche die Pfeile angeben. Werden darauf die metallischen gleichartigen Enden *P P* des Multiplikators *M* in die Flüssigkeit getaucht, so wird der ursprünglich einfache, die Flüssigkeit durchlaufende elektrische Strom sich spalten, indem er nun auch einen Zweig in der Richtung der Pfeile durch den Multiplikatorendraht sendet. Die Aufgabe des Multiplikators besteht nun darin, uns aus dem durch ihn tretenden Zweigstrom eine Vorstellung zu verschaffen über Richtung und Stärke des durch die Flüssigkeit tretenden Hauptstroms. Es ist nun sogleich klar, dass die Antheile der Gesammtströmung, welche durch jeden der Zweige (den Draht und die Flüssigkeit) hindurchgehen, abhängig sein werden von dem Verhältniss ihrer Leitungswiderstände, in der Art, dass wenn der Widerstand, den die metallische Bahn dem elektrischen Strom entgegen setzt, die Hälfte von dem betragen würde, den die Flüssigkeitsbahn bietet, der Strom im Draht ums doppelte den im Trog übertreffen würde. Ist demnach das Verhältniss der Leitungswiderstände in beiden Stromzweigen ein constantes und zugleich bekanntes, so würde man aus dem Grade der Nadelablenkung, den der Stromzweig in dem graduirten Multiplikator erzielte, auch den Stromwerth in der Flüssigkeit durch einen einfachen Proportionssatz berechnen können — Gesetzt aber, es wäre das Verhältniss der Leitungswiderstände zwar ein constantes, dagegen die ihm zukommende Zahl nicht bekannt, so würden wir zwar keinen Aufschluss über den absoluten Werth des Stromes in der Flüssigkeit erhalten, wir würden dagegen noch mit Sicherheit angeben können, ob und welchen Schwankungen die Gesammtströmung unterworfen sei. Denn offenbar müsste wegen der Beständigkeit des Verhältnisses der Leitungswiderstände beider Bahnen einer jeden Veränderung der Stromstärke in der Flüssigkeit auch eine solche in dem Drahte parallel gehen, deren jeweilige Werthe an dem Stande der Nadel abgelesen werden könnten; mit einem Worte, der Multiplikator wäre statt eines absoluten ein proportionaler

Fig. 10.



Masstaab geworden. — Wenn dagegen auch noch die Bedingung des beständigen Widerstandsverhältnisses nicht erfüllt ist, so hört der Multiplikator auf proportionaler Maasstab zu sein; ja es kann sich sogar nun ereignen, dass die im Multiplikator kreisende Elektrizität weder einen Schluss zulässt auf die Stärke noch auf die Richtung des Stromes in der Flüssigkeit. In der That tritt bei einer Vorrichtung wie sie unser Schema darstellt ein Umstand ein, der genau so wirkt, als ob das Widerstandsverhältniss beider Zweige während der Dauer eines in seiner Stärke schwankenden Stromes ein unbeständiges sei. Dieser Umstand ist aber kein anderer als die Polarisation oder Ladung, welche die Enden eines Drahtes erfahren, der, wie in unserem Fall, zur Nebenschliessung eines durch Flüssigkeiten geführten Stromes benutzt wird. Diese Polarisation besteht nun bekanntlich in dem Absatz von Zersetzungsprodukten der Flüssigkeit auf den beiden Drahtenden in der Art, dass auf derjenigen Endplatte P^{I} in Fig. 11, durch welche der ursprüngliche Strom *u u u* in die metallische Leitung eintritt sich ein elektropositives Zersezzungsprodukt (in der Fig. durch den senkrecht schraffirten Mantel angedeutet) anlegt, während an die Platte P'', durch welche der Strom austritt, sich das negative (in der Fig. horizontal schraffirte) Zersetzungsprodukt heftet. Die nothwendige Folge dieser Vertheilung der Zersetzungsprodukte ist die Entstehung eines neuen Stromes, des Polarisations- oder Ladungsstromes, der in einer Richtung sich bewegt, die derjenigen des ursprünglichen Stromes entgegengesetzt ist. Denn da der elektromotorisch wirksame Berührungspunkt der Zersetzungsprodukte durch den Multiplikatorendraht gegeben ist, so wird offenbar der von ihm ausgehende Strom in der Richtung der Pfeile, welche in der Fig. auf der punktirten Bahn gelegen sind, nehmen. Dem gemäss kreisen in dem Multiplikatorendrahte gleichzeitig zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung, so dass nun auch ihre an der Nadel zur Erscheinung kommende Wirkung die resultirende ist aus beiden Strömen; offenbar wirkt also der Ladungsstrom, rücksichtlich des sichtbaren Erfolges, auf die Nadel, wie ein Leitungswiderstand für die ursprüngliche Strömung. — Um den Einfluss dieses Ladungsstromes auf das Resultat der Messung beurtheilen zu können, mit andern Worten: um angeben zu können wie gross der durch den Ladungsstrom vernichtete Antheil des ursprünglich im Drahte kreisenden Stromes sei, ist es nothwendig zu wissen, wie mit der Dauer und Stärke des ursprünglichen Stromes, der Ladungsstrom wachse. Rücksichtlich dieser Verhältnisse steht fest, dass alles andere gleichgegetzt die Ladung zunimmt mit der Stärke des ursprünglichen Stromes, jedoch nicht mit dem Beginn desselben sogleich ihr Maximum erreicht, oder beim Aufhören des ladungerregenden Stromes sogleich auf Null herabsinkt, sondern dass beides, die Entwicklung und das Verschwinden der Ladung sehr allmälig vor sich gehen. Hieraus folgt nun u. A., dass wenn die Stärken des ursprünglichen Stromes rasch genug wechseln, um den Ladungen nicht die gehörige Zeit zu gönnen, zur Annahme desjenigen Werthes, welcher der gerade vorhandenen Stärke des ursprünglichen Stromes entspricht, der Multiplikator ebensowenig benutzt werden kann als Mittel für die Bestimmung der Stärke als für diejenige der Richtung des Stromes, in den seine Enden tauchen. Denn es wird sich z. B. ereignen können, dass, nachdem ein Strom längere Zeit in beträchtlicher Intensität

Fig. 11.



bestanden und er die Platten bis auf das seiner Stärke entsprechende Maximum geladen hat, und er darauf plötzlich beträchtlich geschwächt wird, der zurückbleibende Ladungsstrom das Uebergewicht erhält über den Rest des Hauptstromes, so dass darum die Nadel für einige Zeit gerade in eine Richtung geführt wird, welche derjenigen entgegengesetzt ist, nach der sie der Hauptstrom ablenken würde. Weil sich nun die Ladungen überhaupt nicht vollkommen vermeiden lassen, so folgt daraus, dass die Nadelablenkungen, welche die in den Drähten des Multiplikators laufenden Ströme erzeugen, auch nicht als ein direkt proportionales Mass für die in der Flüssigkeit vorhandene Electricitätsbewegung, voransgesetzt dass diese eine unregelmässige sei, angesehen werden können, sondern dass der Multiplikator unter dieser Bedingung nur dazu dient, um mit Hülfe besonderer später noch zu erwähnender Kunstgriffe uns im Grossen und Ganzen Angaben darüber zu machen, ob die Ströme einer Flüssigkeit im Sinken oder Steigen begriffen sind.

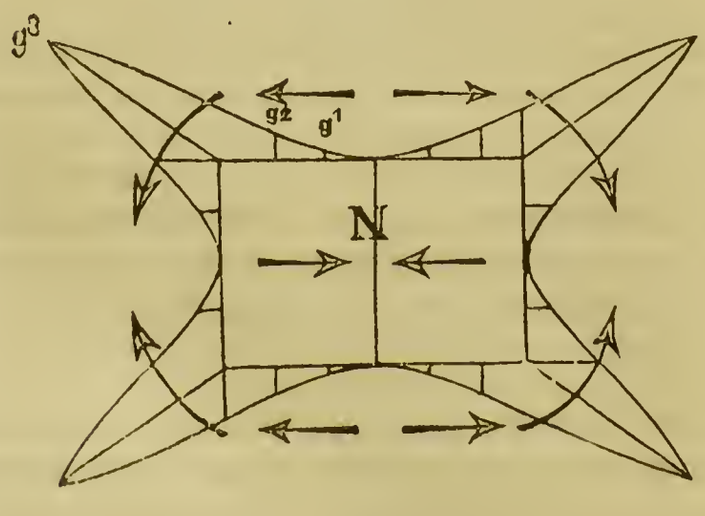
Schliesslich soll dem Anfänger zu Liebe noch hervorgehoben werden, dass die Stärke eines elektrischen Stromes geradezu steigt mit dem Werthe der ihn erregenden (der elektromotorischen) Kräfte (E) und geradezu abnimmt im Verhältniss der Widerstände (W) die die bewegte Electricität auf ihren Bahnen findet. Die Stromstärke (S) ist darum immer ausdrückbar durch einen Quotient $S = \frac{E}{W}$. Da nun der Multiplikator im günstigsten Falle nur den Werth dieses Quotienten misst, so gibt er ohne weitere Hülfsmittel selbstverständlich keinen Aufschluss über die Werthe von E oder W und namentlich auch nicht darüber, ob eine Stromvermehrung oder Stromverminderung durch das Wachsen oder Sinken der Stromstärke oder des Widerstandes erzeugt sei. Aufklärung darüber kann man nur dadurch erhalten, wenn es gelingt, während der Messung die Bedingungen willkürlich dahin zu ändern, dass man bei gleichbleibendem W, das E, oder umgekehrt bei gleichbleibendem E das W veränderlich macht.

Den Froschschenkel präparirt man sich behufs thierisch- elektrischer Untersuchungen so, dass man am enthäuteten Beine den Oberschenkelknochen kurz über den Ansätzen des M. gastrocnemius durchschneidet, dann alle Muskeln, die die Verbindung zwischen dem unteren und oberen Stücke des Oberschenkels noch herstellen, löst, den Nervus ischiadicus dagegen möglichst weit gegen seinen Ursprung frei präparirt und ihn an diesem abschneidet, so dass er in Verbindung mit dem Unterschenkel bleibt. Der *stromprüfende Froschschenkel* ist also ein enthäuteter Unterschenkel, dessen zugehörige Nervenstämme möglichst lang erhalten sind. Seine Vorzüge vor dem Multiplikator bestehen 1) darin, dass durch ihn ohne Einfügung von Metallen ein Strom geprüft werden kann, wodurch alle die am Multiplikator nothwendigen und verwickelten Zwischenapparate wegfallen, 2) aber vorzüglich darin, dass er eine Seite der elektrischen Strömung aufdeckt, welche dem Multiplikator ganz unzugänglich ist. Bekanntermassen ist die Magnetnadel zu träg, um einen momentan dauernden Strom überhaupt oder wenigstens in der seiner Intensität entsprechenden Stärke anzuzeigen. Die nothwendige Folge dieser Eigenschaft ist nun auch die, dass die Magnetnadel rasch wechselnden Schwankungen eines Stromes in seinen verschiedenen Phasen nicht zu folgen vermag, sondern dass sie nur die resultirende Wirkung eines in seiner Stärke und Richtung rasch veränderlichen Stromes darstellt. So würde unter andern eine Magnetnadel gar keinen Strom anzeigen (auf dem Nullpunkt verharren), wenn in rascher zeitlicher Folge regelmässig wechselnd zwei gleich starke aber in entgegengesetzter Richtung gehende Ströme sich durch den Multiplikatordraht drängen. Ganz anders würde sich aber dann der Froschschenkel verhalten; wegen seines geringen Trägheitsmomentes erleidet er merkbare Veränderungen durch jeden noch so kurz dauernden Strom, und namentlich wegen seiner Eigenschaft nur durch den in seiner Stärke veränderlichen Strom zu Muskelbewegungen veranlasst zu werden, tritt er gerade als ein Reagens für

jeden Wechsel desselben auf, so dass er z. B. in dem eben erwähnten Fall der Strömung, welche die Nadel vollkommen in Ruhe liess, in sehr lebhafte Zuckungen gerathen würde.

2. Electrische Erscheinungen am lebenden Nerven, während er sich in einem Zustande befindet, in welchem er innerhalb des thierischen Körpers weder Empfindung noch Bewegung noch Absonderung erzeugen würde. Ruhender Nervenstrom. Das Präparat, an dem du Bois die Untersuchung vornimmt, ist ein frisches langes Stück eines möglichst astlosen stärkern Stammes (n. ischiadicus) der am besten von einem lebenskräftigen Kaltblüter genommen wird. Indem man dieses Stück als einen Cylinder ansieht, unterscheidet man an ihm den Cylindermantel (den Längsschnitt), die Cylinderbasis (Querschnitt) und die auf die Längenachse desselben senkrechte Halbirungslinie (den Aequator). Die Untersuchung stellt sich nun zuerst die Aufgabe, zu ermitteln, ob und von welchen Punkten der Oberfläche Ströme zu andern Punkten derselben gehen, und wenn sie vorhanden, wie stark die Strömung an jedem Orte ist. Demgemäss bringt man den Nerv gleichzeitig an verschiedenen Stellen mit den beiden Zuleitungsbäuschen, welche in einer constanten Entfernung von einander stehen, in Verbindung. Berührt man nun gleichzeitig die Bäusche mit symmetrisch zum Aequator gelegenen Punkten des Nervenstücks, gleichgiltig ob sie auf dem Längs- oder Querschnitte sich befinden, so erscheint keine Ablenkung der Nadeln; unwirksame Anordnung. Berührt dagegen der eine der Bäusche den Aequator und der andere ein zweites Stück der Oberfläche, so entsteht eine Ablenkung; die Grösse der Ablenkung wächst rascher und rascher, wenn man mit beiden Bäuschen mehr und mehr gegen die Grenze der Oberfläche und des Querschnitts wendet, schwache Anordnung; sie erreicht ein Maximum, wenn man endlich einen Bausch auf der Oberfläche zurücklässt und mit dem andern auf den Querschnitt übergeht; starke Anordnung. — Die Richtung der Ströme geht in allen Fällen durch den Multiplikatorendraht von dem Längsschnitt zum Querschnitt und also im Innern des Nerven vom Querschnitt zur Oberfläche. Die um den Aequator gelegenen Theile der Oberfläche verhalten sich also positiv gegen die nach den Enden gelegenen und diese wieder positiv gegen den Querschnitt. Eine Versinnlichung des Wachsthums der Ströme von ihrem Minimum zu ihrem Maximum bei gleicher Spannweite des ableiten-

Fig. 12a.

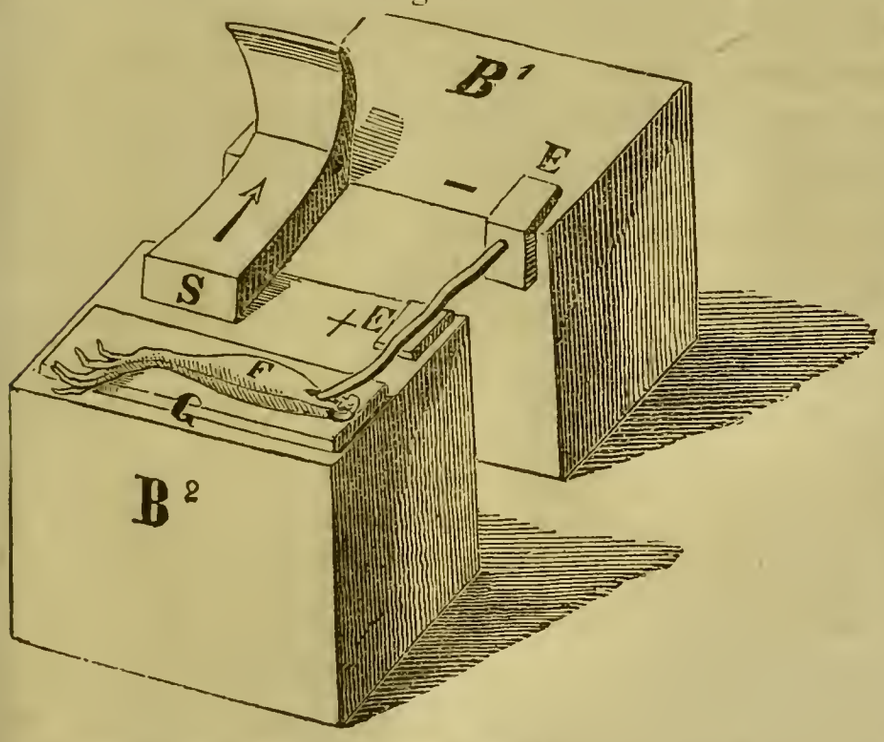


den Bogens erhält man, wenn man sich die wachsenden Stärken der Ablenkung als Ordinaten y^1, y^2, y^3 u. s. w. auf der Oberfläche des Nerven N als Abszisse aufgetragen denkt, wie dies in der Fig. 12a geschehen ist. Die Pfeile geben die Richtung der Ströme an.

Diese Curve zeigt also, an, dass auf dem Längenschnitt symmetrisch um den Aequator Ströme gleicher Stärke und entgegengesetzter Richtung gehen. Dasselbe setzt sie von den Strömen auf dem Querschnitte des Nerven voraus, was vorerst noch nicht durch den Versuch dargethan; die Gründe, die die Richtigkeit dieser letzteren Annahme wahrscheinlich machen, werden später noch beigebracht werden. Die Form der Curve ist nur als eine schematische anzusehen.

Die Gegenwart dieser Ströme von dem Längsschnitt des Nerven zu seinem Querschnitt, kann nun auch durch den Froschschenkel erwiesen werden. Der Versuch, durch den du Bois dieses thut, ist folgender. Er stellt (Fig. 12b) zwei mit conzentrirter Kochsalzlösung wohl durchfeuchtete Bäusche (B^1 B^2) die auf einer wohl isolirten Grundlage ruhen, auf; an zwei Stellen beider werden die mit Eiweiss durchdränkten Harnblasenstückchen EE angedrückt und auf den Bausch B^2 ausserdem noch in Glasplättchen G gelegt; hierauf bringt er einen sehr erregbaren stromprüfenden Froschschenkel F auf das Glasplättchen und seinen zugehörigen Nerven auf das Harnblasenstück des Bausches B^2 mit der Oberfläche und auf dasjenige des Bausches B^1 mit dem Querschnitt an. Ist dieses geordnet, so verbindet er sehr rasch die beiden Bäusche durch den Schliessungsbausch S, in welchen augenblicklich ein Strom von B^2 zu B^1 dringt, in Folge dessen der Schenkel zuckt. Oeffnet man eben so rasch wieder, so entsteht eine zweite Zuckung. — Es bringt also hier ein Strom, der die im Nerven enthaltenen Gegensätze auszugleichen strebt, den Nerven in Erregung.

Fig. 12b.



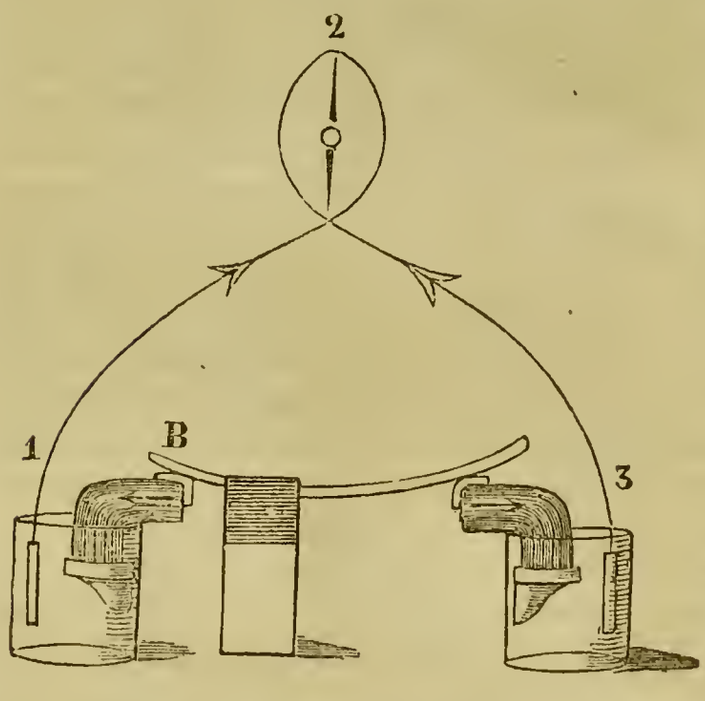
Wenn man die Spannweite des zum Multiplikator ableitenden Bogens statt sie, wie bisher vorausgesetzt wurde, gleich gross zu erhalten, veränderlich macht, so dass z. B. der Nerv mit seinem Aequator auf einem Bausch unveränderlich aufruht, während der andre mehr und mehr gegen das Ende desselben rücket, und demgemäss nach jedem Weitergang der Bogen längere Nervenstücke umspannt, so steigen die Ausschläge der Nadel beträchtlich und man erhält den stärksten Ausschlag, wenn der Nerv den einen Bausch am Querschnitt und den andern am

Aequator berührt, einen stärkeren als wenn irgend eine dem abgeleiteten Querschnitt nahe liegende Stelle der Oberfläche berührt wird.

Dieses bisher beschriebene Verhalten des Nerven gegen die Magnetnadel tritt mit seinen allgemeinen Kennzeichen ein, mag das Nervenstück dick oder dünn, lang oder kurz sein; jedes noch so kleine der Untersuchung noch zugängige Stück zeigt unwirksame, schwache und starke Anordnungen und seine Ströme gehen immer bezüglich der Richtung nach demselben Gesetz. So unwesentlich demnach die Masse des Nerven für das Zustandekommen der Ströme ist, so einflussreich erscheint sie auf die Stärke derselben. Du Bois hat in Rücksicht dieses letzteren Punktes ermittelt, dass mit der Zunahme der Länge und des Querschnittes eines Nerven die Stärke des Stromes in irgend einem noch unbekannten Verhältniss wächst.

Um diese Thatsachen festzustellen sind bei den zu vergleichenden Nerven verschiedener Länge die Spannweiten des Bogens so zu legen, dass jedesmal die Maxima der möglichen Wirkungen gegeben werden; ihr einer Grenzpunct muss demnach der Aequator, der andere der Querschnitt sein. Da nun ferner verschiedene Nerven verschiedene elektromotorische Kräfte besitzen können und in der That besitzen, wie sich noch zeigen wird, so müssen möglichst gleichartige Nerven, also die gleichnamigen der beiden Schenkel desselben Thieres, oder auch verschieden dicke Enden desselben Nerven verglichen werden. Endlich führte auch die Verschiedenheit des Querschnittes und der Länge des Nerven verschiedenen Widerstand in den Kreis; diese Unterschiede werden aufgehoben durch das Verfahren der Compensation, das darin besteht, dass die zu vergleichenden Nervenstücke gleichzeitig in den Kreis, aber in entgegengesetzter Richtung, eingeschaltet werden, wie diess in Fig. 13 angegeben. Der Nerv *B* sendet dann einen Strom in der Richtung 1. 2. 3 und der Nerv *A* einen solchen in der Richtung 3. 2. 1. durch den Kreis. Erscheint in diesem Fall ein Uebergewicht des einen Stromes, so muss dieses von grössern elektrischen Leistungen eines der beiden Nerven abhängen, da der ausserwesentliche Widerstand (der Widerstand ausserhalb der im Nerven enthaltenen Ketten) in beiden Fällen gleich ist.

Fig. 13.



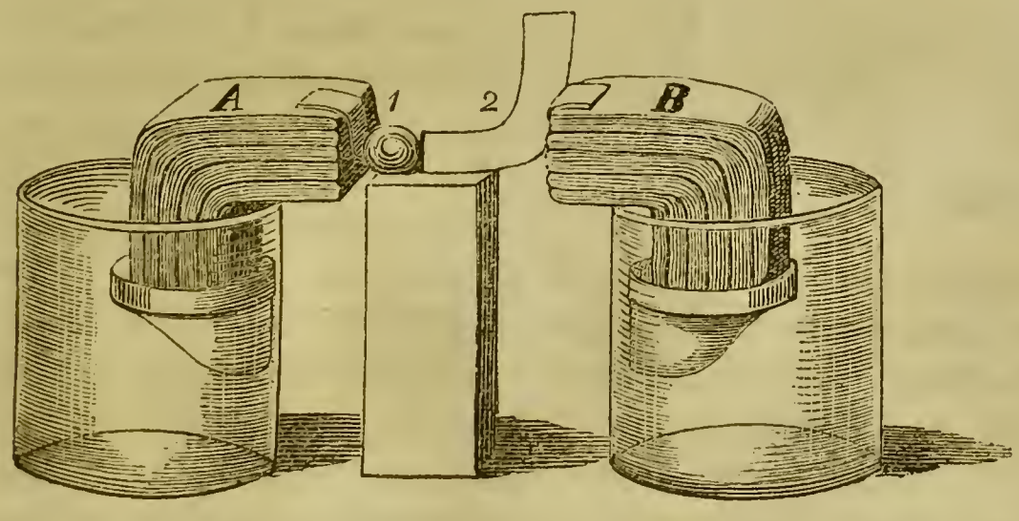
Ausser den Dimensionen des Nerven wirken noch bestimmend auf die Intensität des ruhenden Nervenstroms gewisse innere nicht genauer bestimmbare Verhältnisse der mechanischen und chemischen Anordnung des Nerven. Am stärksten erscheint der Strom, wenn der Nerv frisch von einem recht lebenskräftigen Thier genommen wird, und aus einem Glied, welches einige Zeit vorher keinen physiologischen Anstrengungen ausgesetzt war. Dieses Maximum der uns bekannten Stromstärke kann auf mancherlei Art willkürlich geschwächt

oder vernichtet werden; alle diese Schwächungsmittel haben, so vielfach sie auch sein mögen, immer noch gleichzeitig die Folgen die chemische und mechanische Anordnung des Nerven abweichend von derjenigen des frischen Nerven zu gestalten. Wie weit und nach welchen Richtungen die Abweichung gegangen sein muss, um die Ablenkung der Nadel in dieser oder jener Weise zu modificiren, ist ganz unbekannt, was nicht minder zu bedauern als der Umstand, dass wir nicht im Stande sind einmal eingetretene Stromschwächungen wieder aufzuheben.

Folgerungen für die Anordnungen der electrischen Theile im Nerven. Die Schlüsse, welche für die electrische Massenanordnung aus den bis dahin gegebenen Thatsachen fliessen sind 1) die electrischen Massen des erregbaren Nerven sind in eine Schichte eines feuchten indifferenten Leiters eingebettet, und zwar so, dass sie wirken als ob ihre positive Seite gegen den Cylindermantel, die negative gegen den Querschnitt gewendet sei. Mit andern Worten der erregbare Nerv stellt eine geschlossene Säule dar, dessen positiver Pol gegen den Längen-, dessen negativer gegen den Querschnitt gerichtet ist.

Die Beweise für diesen Satz liegen darin, dass auch auf dem Längenschnitt für sich Ströme vorkommen; wäre in der That die Oberfläche des Längenschnitts (die Scheide des Nerven) das positive Glied, so würde gleichzeitige Berührung derselben keinen Strom bedingen; dass dagegen sogleich auf der Oberfläche der Nerven ein Strom eintreten muss, wenn man die an der Oberfläche und an dem Querschnitt enthaltenen elektrischen Gegensätze durch einen indifferenten Leiter verbindet, ist von selbst klar. — Um diese wichtige Folgerung über allen Zweifel zu heben, hat du Bois noch folgende Anordnung mit dem Multiplikator untersucht. — Mit einem Bausch

Fig. 14.

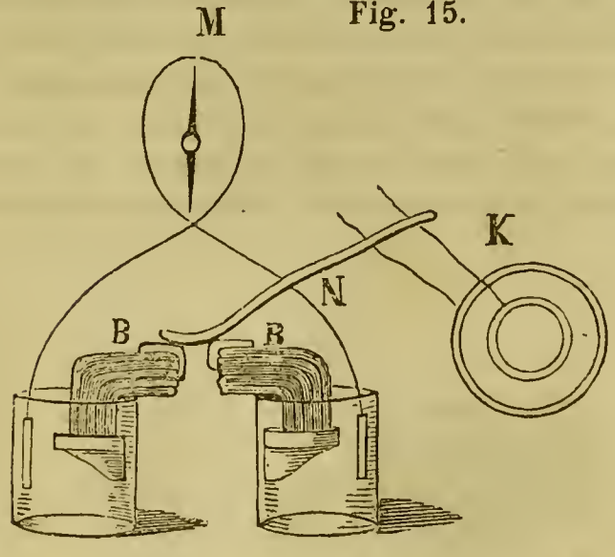


A brachte er die Oberfläche eines quergelegten Nerven 1 in Berührung; an diesen legte er den Querschnitt des Nerven 2 der mit dem Aequator seiner Oberfläche auf den Bausch *B* zu liegen kam, diese Anordnung gab den starken Strom von der Oberfläche zum Querschnitt, was nicht hätte eintreffen dürfen, wenn die Oberfläche der Nerven das positive Glied gewesen wäre. Die Modifikation dieses letzteren Versuchs von du Bois die Nerven so zu legen, dass die Querschnitte auf die ableitenden Bäusche und der Längeschnitt in der Mitte sich befinden, gibt den Beweiss, dass auch auf dem Querschnitt die negative Masse mit einem unwirksamen Ueberzug versehen ist; dieser Fall gibt nämlich ebenfalls einen starken Strom.

Aus den bis dahin mitgetheilten Thatsachen folgt 2) dass die im Nerven enthaltenen positiven und negativen electrischen Massen hintereinander in regelmässiger Reihenfolge wiederkehren. Diese Behauptung wird durch die Erscheinung gerechtfertigt, dass die Grösse des Nervenstücks keinen Einfluss auf das allgemeine Strömungsgesetz übt, und dass die symmetrisch zum Aequator gelegenen Theile an einem möglichst regelmässig geformten Nervenstück ganz gleiche Spannungen darbieten, so dass kein Strom zwischen ihnen bestehen kann. In dieser Beziehung zeigt der Nerv Analogie mit einem Magneten.

3. Electrisches Verhalten des Nerven, während ein Theil seiner Länge dem Einfluss eines electrischen Stromes unterworfen ist. Electrotonischer Zustand. — Bevor wir die bis dahin mitgetheilten Thatsachen zu noch weitern Folgerungen nutzbar machen, sollen erst die Umwandlungen der electrischen Erscheinungen besprochen werden, welche du Bois im Nerven beobachtete, und zwar zuerst diejenige welche eintritt, wenn man eine kurze Strecke eines langen Nervenstücks in den Multiplicatorenkreis einschaltet und durch das ausserhalb dieses Kreises gelegene Ende einen electrischen Strom von gleichbleibender Stärke durchtreten lässt. Der Versuch gestaltet sich folgendermassen (Fig. 15): der Nerv *N* liegt mit einer Abtheilung auf den Bäuschen *B B* die in bekannter Weise mit dem Multiplikator *M* verbunden sind, während durch einen andern Theil des Nerven *N* die constante (eine Grovesche oder Bunsensche) Säule *K* geschlossen wird. Den Strom dieser Säule werden wir den erregenden, das zwischen den Polen der letztern liegende Nervenstück das galvanisirte, das auf den Bäuschen liegende das abgeleitete nennen. — Unter diesen eben gegebenen Bedingungen erfährt der Strom, der ursprünglich (vor Anlegung der Kette) im Nerven vorhanden war, eine Veränderung, und zwar eine Verstärkung, wenn der in das galvanisirte Stück geschickte Strom gleiche Richtung mit dem ursprünglichen (Nerven) Strom in der abgeleiteten Stelle besitzt und umgekehrt eine Schwächung oder gänzliche Umkehrung, wenn der erregende Strom das galvanisirte Stück in einer Richtung durchkreisst, die entgegengesetzt von derjenigen ist, welche dem ursprünglichen Nervenstrome in dem abgeleiteten Stücke zukommt. Die Vermehrung (oder Verminderung) des Nervenstroms nennt du Bois den electrotonischen Zuwachs, und den Nerven nennt er in der positiven Phase befindlich, wenn der Nerven- und erregende Strom gleichgerichtet sind (also der erstere verstärkt wird),

Fig. 15.

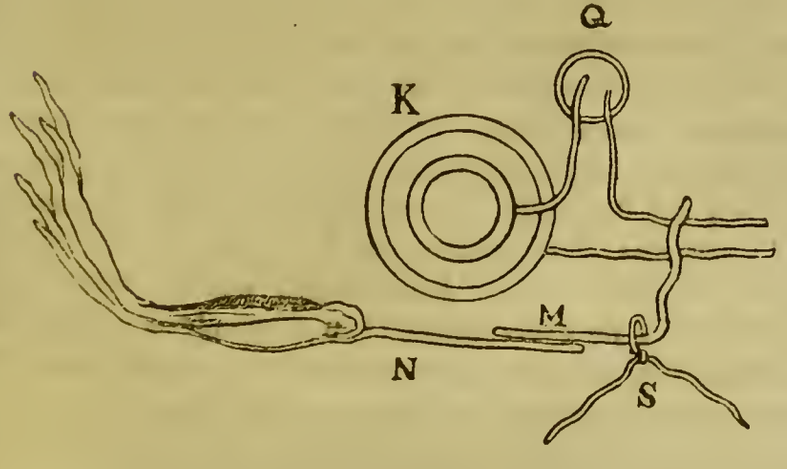


und umgekehrt, befindet sich der Nerv in der negativen Phase wenn Nerven- und erregender Strom im entgegengesetzten Sinne laufen (also der erstere geschwächt wird). Der electrotonische Zuwachs tritt momentan mit dem Schluss der erregenden Säule ein, besteht so lange sie geschlossen bleibt, und verschwindet momentan mit ihrer Oeffnung.

Der Verdacht, der sich hier erheben könnte, als ob die beobachtete Nadelabweichung keine Folge der veränderten elektrischen Eigenschaften des Nerven sei, sondern eine unmittelbare des erregenden Stromes, wird einfach vernichtet, wenn man erfährt, dass der electrotonische Zuwachs ausbleibt, so wie zwischen das erregte und das abgeleitete Stück ein befeuchteter Faden so fest um den Nerven geschnürt wird, dass beide Theile nicht mehr durch Nerveninhalt sondern nur durch die Scheide und den nassen, also E leitenden Faden zusammenhängen. Ebenso sicher bleibt der elektrotonische Zuwachs, wie überhaupt alle elektrische Wirkung aus, wenn ein nicht mehr erregbares Nervenstück in gleicher Weise auf die Bäusche gelegt und gleichzeitig von erregenden Strömen durchkreisst wird. — Der erregende Strom könnte in der That auf zweierlei Art direkt auf die Nadel wirken; einmal durch die Luft, was man verhütet, wenn man die Säule selbst entfernt von der Nadel aufstellt, und die von ihr zum Nerven gehenden umsponnenen Drähte umeinanderwickelt; oder durch Stromesschleifen, die sich von den an die Nerven angelegten erregenden Polen über die Enden des galvanisirten Nervenstücks hinaus erstrecken. Diese Schleifen werden vermieden oder auf einen sehr engen Raum beschränkt, wenn die Pole des erregenden Stromes aus feinen Drähten bestehen, und der Zwischenraum zwischen beiden nicht zu gross genommen wird. In diesem Fall kann man die Drähte des erregenden Stromes bis auf 2 M. M. den ableitenden Bäuschen nähern, ohne ein Uebergehen der Ströme aus dem erregenden in den Multiplikatorkreis zu gewahren.

Paradoxe Zuckung. Das Eintreten und Verschwinden des elektrotonischen Zustandes lässt sich nach du Bois auch durch den stromprüfenden Froschschenkel darlegen. Man ordnet den Versuch nach dem Schema an das die Fig. 16 gibt. Den Nerven eines stromprüfenden, sehr lebenskräftigen Froschschenkels *N* legt man in innige Berührung mit einem noch möglichst erregbaren Nervenstück *M*, an dieses schlägt man bei *S* eine ganz lockere Schleife, so dass der Nerv in keiner Weise gedrückt wird, und an sein Ende legt man ihn auf zwei sehr nahe stehende und sehr feine Drähte, welche mit der Säule *K* in Verbindung stehen. Der Schluss oder die Oeffnung der Säule geschieht durch die Herstellung oder Unterbrechung der Leitung in einem der Drähte, indem man zwei einander zugekehrte Enden desselben in ein Quecksilbernäpfchen *Q* taucht.

Fig. 16.



In dem Momente wo die Schliessung oder Oeffnung der Kette erfolgt, tritt eine Zuckung in den Schenkeln ein. Dass auch hier kein unmittelbares Uebertreten der Elektricität aus der Kette *K* in den Nerven *N* stattfinde, wird dadurch bewiessen, dass die Zukkung beim Schliessen und Oeffnen der Kette ausbleibt, wenn die Schlinge *K* des wohldurchfeuchteten Fadens S so fest zuge-

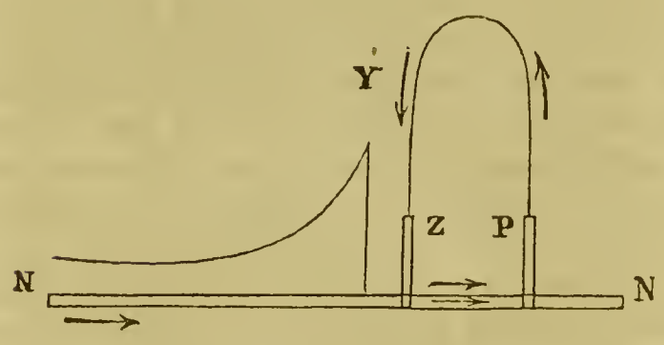
schnürt wird, dass der Inhalt des Nerven *M* zwischen der erregten und der mit dem Nerven *N* in Berührung befindlichen Stelle unterbrochen wird. Als Erregungsmittel des stromprüfenden Froschschenkels dient also nichts anderes als die im Marke des erregten Nerven *M* anschwellenden und sinkenden elektrischen Ströme im Momente der Schliessung und Oeffnung der Kette *K*.

Die Stärke des electrotonischen Zuwachses, resp. die durch ihn herbeigeführte Vermehrung der Nadelablenkung unter Voraussezzung einer gleichen Spannweite der ableitenden Bäusche des Multiplicators ist abhängig von folgenden Umständen:

a) Der Zuwachs erscheint bei Auflegung der ursprünglich unwirksamen oder schwachen Anordnungen des Nerven sehr viel beträchtlicher als beim Auflegen der ursprünglich kräftigen Anordnung des Nerven. Diese Behauptung wird dadurch gerechtfertigt, dass die im electrotonischen Zustand von der Oberfläche des Nerven abgeleiteten Ströme fast so beträchtlich sind, als die von der Oberfläche und dem Querschnitte abgeleiteten.

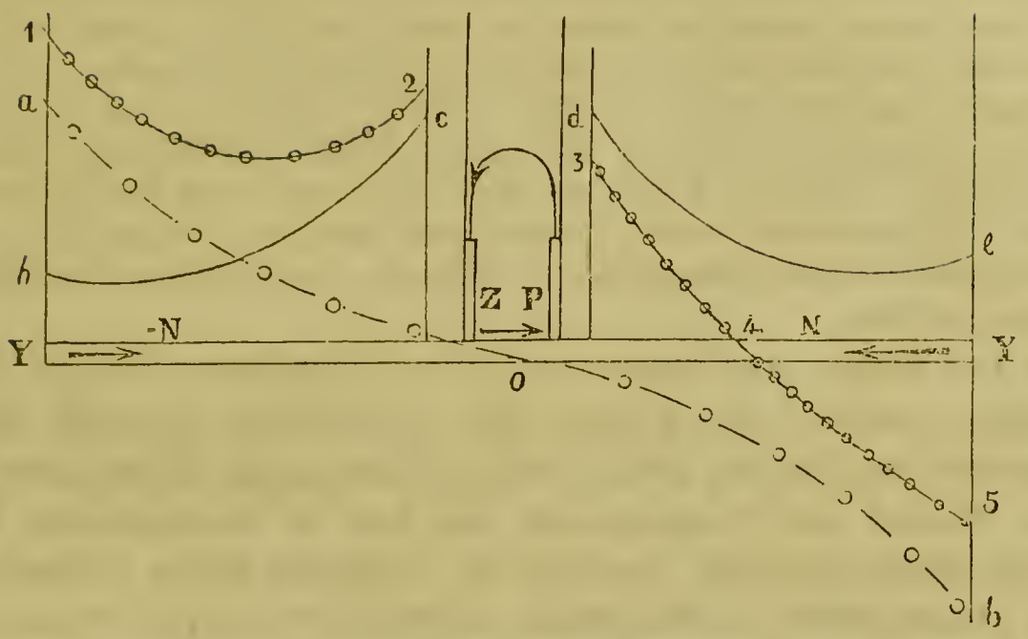
b) Die Stärke des Zuwachses steigert sich mit der Annäherung an die Electroden des erregenden Kreises; das Gesetz seiner Zunahme mit der Näherung an den erregenden Kreis ist aber nicht das der einfachen Proportionalität, sondern das eines ursprünglich raschen und dann nur sehr allmähligen Steigens, so dass annähernd dasselbe durch folgende Curve (Fig. 17) dargestellt wird; in dieser Curve bedeuten die Höhen der Ordinaten *y* die Stärken des Zuwachses auf der jeweiligen Stelle der Nerven *N* wenn die erregende Kette *ZP* in der gegebenen Stellung sich findet.

Fig. 17.



Die Auffindung dieses Gesetzes der Veränderung des elektrotonischen Zuwachses auf der Länge des Nerven, die besondere Schwierigkeiten bietet, ist auf zwei Wegen möglich. Entweder man verrückt auf den Bäuschen die abgeleitete Stelle und lässt die erregende unverändert; in diesem Fall misst man die Resultirende aus den zweien mit der Länge der Nerven veränderlichen Grössen, nämlich der Veränderung des Nervenstromes und der des elektrotonischen Zuwachses, denn es ist, was besonders hervorzuheben, der Nerv im elektrotonischen Zustand auch noch dem Gesetze des ursprünglichen Nervenstromes unterworfen. In diesem Fall wird also die Curve der scheinbaren, (d. h. der am Multiplikator sichtbaren) Stromstärke auf dem Nerven so sein, wie sie Fig. 18 darstellt. Diese Curve ist folgendermassen zu verstehen: *a o b* ist die Curve des Nervenstromes d. h. die Ordinaten *a Y* bis *b Y* bedeuten die Wechsel in der Grösse der Ausschläge, welche man erhält wenn man über den Nerven, bevor er im elektrotonischen Zustande war, mit jedesmal gleichweit entfernten Bäuschen hingeht. Die Darstellung, dass von *a* bis *o* die Ordinaten positiv und von *o* bis *b* negativ sind, bedeutet die Umkehr des Stromes, wie sie auch durch die Pfeile im Nerven *N* angedeutet ist. *h c* und *d e* bedeu-

Fig. 18.



ten die Veränderung in dem Werthe des elektrischen Zuwachses, wenn der Strom den die Elektroden *PZ* durch den Nerven schicken in der Richtung des Pfeiles durch ihn geht, der zwischen den Elektroden gezeichnet ist. Die algebraische Summe beider Ordinaten an jedem Punkte wird die jeweilige Ordinate der Resultirenden beider darstellen. Die aus ihrer Zusammenstellung hervorgehende Curve ist 1. 2. 3. 4. 5.. Wie man sieht liegt diese Curve in der Hälfte wo der Nerven- und erregender Strom gleichgerichtet sind auf der positiven Seite über der Curve des Nervenstroms (positive Phase) auf der anderen Seite des Aequators *o* in der negativen Phase liegt unsre Curve dagegen zum Theil auf der positiven Seite, schneidet aber bei 4 die Abszissenachse und erreicht nun bei 5 ihr Maximum auf der negativen Seite. Obwohl die Hilfsmittel noch nicht so weit gediehen sind, um aus den Messungen mit Schärfe die Curve abzuleiten, so entspricht doch die Messung der theoretischen Entwicklung so annäherend, dass die Richtigkeit der hier gegebenen Vorstellung vom Zuwachs nicht bezweifelt werden kann.*) — Die andre Art der Messung gewinnt den Werth des elektrotonischen Zuwachses auf direkterem Weg, indem sie den Ort des abgeleiteten Nervenstücks unverändert lässt, dagegen den erregenden Strom dem auf den Bäuschen liegenden Nerven bald nähert und bald von ihm entfernt. In diesem Fall wird begreiflich die vom Nervenstrom herrührende Veränderlichkeit beseitigt. Auch diese Messung bestätigt die im Text gegebene Curve des Zuwachses.

c) Die Abhängigkeit des electrotonischen Zustandes von der Dichtigkeit und Stärke des erregenden Stromes gestaltet sich so, dass ursprünglich mit dem Steigen des erregenden Stromes auch der electrotonische Zustand wächst, bald aber ein Maximum erreicht, über das hinaus beim weiteren Steigen des erregenden Stromes die Stärke des electrotonischen Zustandes nicht gesteigert wird.

d) Die Stärke des electrotonischen Zustandes wächst mit der Länge des Nervenstückes, welches in den erregenden Kreis eingeschoben wird.

Die Eigenschaft des elektrotonischen Zustandes, seine Wirkungen auf anliegende Theile durch ein unterbundenes Nervenstück nicht weiter zu verbreiten, gibt die Möglichkeit an die Hand, auch die unter *d* angeführte Thatsache direkt zu erwei-

*) Die um ein kleines geringere Stärke, welche der elektrotonische Zuwachs in der negativen Phase constant gegen den der positiven Phase zeigt ist hier vernachlässigt worden.

sen. Wollte man nämlich die Stärke des Zuwachses an einer bestimmten Stelle des Nerven prüfen, während man die Länge des in den erregenden Kreis eingeschobenen Stückes bald kürzer bald länger wählte, so würde man damit zugleich die Stromstärke in dem erregenden Kreise ändern, indem man nämlich hierdurch den Widerstand steigerte und schwächte. Um diese Fehler zu vermeiden, lässt du Bois die Länge des Nervenstückes zwischen den Polen der Säule unverändert, unterbindet aber, nachdem er vorher die Stärke des Zuwachses festgestellt hat, den Nerven in der Mitte zwischen beiden Polen, wodurch die Hälfte des erregten Nervenstücks seine Wirsamkeit für die Vermehrung des elektrotonischen Zustandes im abgeleiteten Nervenstück verliert.

c) Die Stärke des electrotonischen Zuwachses ist vom Winkel abhängig, welchen der Zweig des erregenden Stromes mit der Längenachse des Nerven bildet; wird der erregende Strom unter einem rechten Winkel zur Längenachse des Nerven durchgeleitet, so tritt gar kein elektrotonischer Zustand ein, während dieser letzteren alles andere gleichgesetzt im Maximum erscheint, wenn die Stromrichtung in die Längenaxe des Nerven fällt.

Du Bois hat sich, wie aber auch ohne Bemerkung vorausgesetzt werden dürfte, überzeugt, dass die bei dem zuerst erwähnten Versuch immer nur geringe Länge des einschiebbaren Nervenstückes nicht den Grund für das Ausbleiben des elektrotonischen Zustandes abgibt.

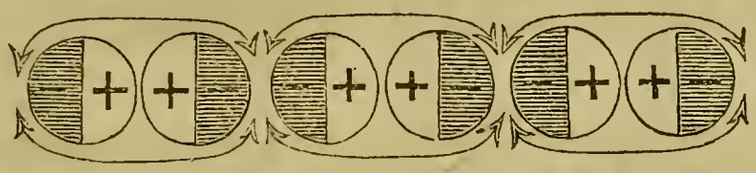
f) Die Grösse der vorhandenen physiologischen Leistungsfähigkeit des Nerven bestimmt endlich die Stärke des electrotonischen Zuwachses. Je frischer und lebenskräftiger der Nerv ist, welcher dem Einfluss der Kette unterworfen ward, um so beträchtlicher wird der Zuwachs; aus diesem Grund nimmt nun auch in der Kette, durch welche die Erregbarkeit des Nerven geschwächt wird, und zwar um so rascher je intensiver und dichter der in ihr kreisende Strom ist, die Stärke des electrotonischen Zuwachses fortwährend ab, und sinkt auf Null, wenn die physiologische Leistungsfähigkeit verschwunden ist.

Bisher sind die Umstände betrachtet, welche unter Voraussetzung einer gleichen Spannweite des ableitenden Bogens einen Einfluss auf die Grösse der durch den electrotonischen Zustand herbeigeführten Nadelabweichung übten. Es bleibt noch übrig zu betrachten, welcher Erfolg eintritt, wenn die Spannweite des Bogens, also die Länge und der Querschnitt des abgeleiteten Nervenstückes wechselt. Du Bois hat hier ermittelt, dass diese Fälle nach Analogie der Zusätze neuer Glieder in eine gewöhnliche galvanische Kette zu beurtheilen sind.

Fortsetzung der Folgerungen für die electrische Anordnung des Nerven. Bis dahin hatten wir vom electrischen Gesichtspunkt aus den Nerven aufgefasst als ein Gebilde, das aus electrischen Ungleichartigkeiten bestand, die in sehr kleinem Raume vertheilt, in regelmässiger Folge wiederkehrten. Die Darstellung des electrotonischen Zustandes erlaubt es nun geradezu auszusprechen, dass die electrischen Ungleichheiten auf kleinste Theilchen irgend welcher Form, electri-

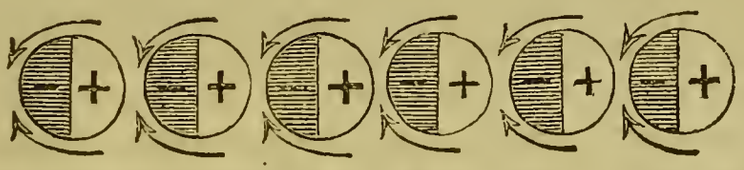
sche Moleküle, vertheilt sind, welche in verschiedenen Zuständen des Nerven verschiedene Stellungen einnehmen können. In dem ruhigen Zustand des lebenden Nerven liegen je zwei dieser Moleküle mit ihren gleichnamigen Enden einander zugekehrt, so dass aus beiden scheinbar ein Gebilde mit einer positiven Zone und zwei negativen Polen entsteht (Peripolarer Zustand). In dem electrotonischen Zustande sind die Moleküle dagegen so geordnet, dass sie sich immer die ungleichnamigen Pole zuwenden (dipolarer Zustand, säulenartige Polarisation). Folgende Figuren geben die bildliche Vorstellung; in ihnen ist, um das Verhalten der Nerven auf Quer- und Längsschnitt klar zu machen, das Rohr nur mit einer Reihe von Molekülen (obwohl es ihrer in Wirklichkeit auch auf dem Querdurchmesser zahllose sein müssen) erfüllt gedacht worden.

Fig. 19.



Peripolarer Zustand.

Fig. 20.



Dipolarer Zustand.

Die Gründe für diese Vorstellung liegen einfach darin, dass diese Anordnungen allen gefundenen Thatsachen Genüge leisten. Die fixirte Vertheilung der Ungleichheiten auf bewegliche Molekeln wird namentlich durch die momentan eintretenden Stromesveränderungen verlangt.

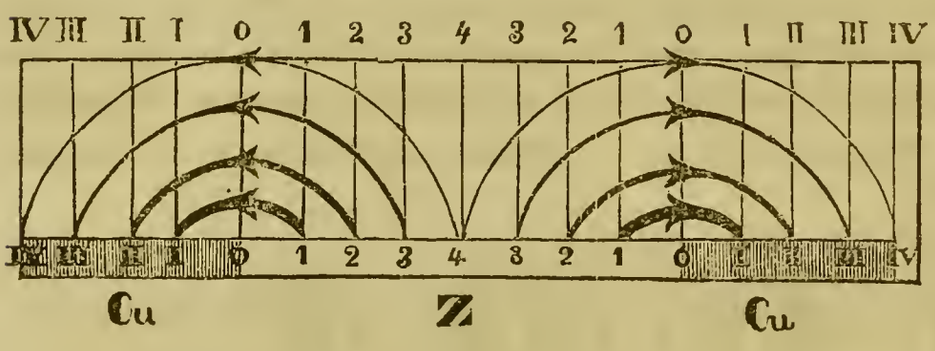
Zur weiteren Begründung und Aufklärung noch Folgendes:

1) Peripolare Anordnung. — Du Bois versenkte ein künstliches peripolar-elektrisches Gebilde in einen Trog mit leitender Flüssigkeit und studirte die Ströme, welche dasselbe durch die Flüssigkeit respective durch die in dieselbe eingesenkten Platten eines Multiplikators sendete. Die einfachste Anordnung, die hier gegeben werden kann, besteht darin, an den Enden einer beliebig langen viereckigen Zinkplatte jederseits eine Kupferplatte von gleicher Breite und halber Länge des Zinkes anlöthen zu lassen, und sie als Boden eines rechteckigen Kastens zu benutzen, welcher mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, die so viel als möglich die Ladungen der Kupferplatte ausschliesst. in unserem Falle wäre also Salpetersäure oder schwefelsaure Kupferoxydlösung anwendbar.

Die Theorie verlangt nun, dass die an den Zinkkupfergrenzen entwickelten elektrischen Massen sich auszugleichen streben; zunächst werden sie auf die mit einer ausgezeichneten Leitungsfähigkeit begabten Metalle ausströmen, so dass sich sehr bald alle Theilchen der Metallplatte in gleicher elektrischer Spannung befinden, nur mit dem Unterschiede, dass alle Kupfertheilchen negativ und alle Zinktheilchen positiv elektrisch geladen sind. Von jedem Ort dieser Platte, in so ferne er mit leitender Flüssigkeit bedeckt ist, wird nun ein Strom in die Flüssigkeit austreten, und zwar wird, indem wir nur die Strömung positiver Elektrizität in das Auge fassen,

von den Zinktheilchen ein Strom gegen die Kupfertheilchen durch die Flüssigkeit gehen. Die Stärke des Stromes, die von jedem Theilchen ausgeht, nimmt nun bekanntlich, bei Voraussetzung gleicher elektromotorischer Kräfte, in geradem Verhältniss mit dem Wachsthum des Widerstandes ab, der sich ihm bei seinem Austritt entgegensetzt. Der Widerstand wächst aber, bei Voraussetzung gleicher Breite des Stromes, wie hier geschehen, mit der Länge des Weges, den er zu durchlaufen hat, um von seinem Ausgangspuncte in das negative Kupfer einzukehren. Alle diese Forderungen sind in Fig. 21 graphisch dargestellt. Diese Figur bedeutet einen nach obigen Angaben gebauten Kasten; am Boden sind die Zink- und die Kupferplatten. Verfolgen wir nun die einzelnen (Theil) Ströme, welche von den Punkten 1, 2, 3, 4 des Zinkes durch die Flüssigkeit zu I, II, III, IV des Kupfers gehen, so ist ersichtlich, dass die von 1 zu I verlaufenden Ströme stärker sein werden, als die von 2 zu II dringenden u. s. w. und es wird zwar ihre Intensität abnehmen, wie die Länge der bogenförmigen Bahnen wächst. Dieses Verhalten der Ströme ist in der Figur durch die abnehmende Dicke der Striche angedeutet*).

Fig. 21.



In allen Fällen werden aber Ströme vom Zink zum Kupfer gehen; ist, wie in unserer Anordnung zu beiden Seiten des Zinks Kupfer vorhanden, so werden in der Flüssigkeit von dem Zinke, von dem Aequator 4 aus, Ströme in entgegengesetzter Richtung laufen. Diese entgegengesetzt gerichteten Ströme, werden aber bei vorausgesetztem Ebenmaass aller Theile (d. h. des Widerstandes und der elektromotorischen Kräfte) in denselben Abständen von der Mittellinie unseres Systems in gleicher Stärke wiederkehren, und somit wird dasselbe in zwei zerfallen, deren Strömungsrichtung zwar entgegengesetzt ist, die sich aber ausserdem vollkommen identisch sind. Es wird nun, unter Berücksichtigung des früher Mitgetheilten leicht beurtheilt werden können, was eintritt, wenn man die ableitenden Platten des Multiplikators bis nahe auf den Metallboden einsenkt und durch die Flüssigkeit führt. Wir wollen zuerst voraussetzen, es sei der Abstand (die Spannweite) der Platte in allen Fällen gleich der Entfernung je zweier benachbarter Zahlen, so wird, wenn wir auf 4, 3 aufsetzen, ein schwacher Strom durch den Multiplikator gehen, weil nur geringe und schwache Theilströme in seine Platte dringen, setzen wir auf 3, 2 so wächst die Ablenkung der Nadel sehr beträchtlich, weil eine grössere Zahl und noch dazu intensiverer Theilströme in die Platten treten, und die Ablenkung erreicht ein Maximum, wenn wir eben jenseits 1 und 0 angelangt sind, weil nun sämmtliche Theilströme auf sie wirken. Von da ab wird die Ablenkung wieder abnehmen bis zur Stellung III, IV. — Wenn man aber mit veränderlichen statt mit gleichbleibenden Spannweiten der Platten durch die Flüssigkeit geht, so können ersichtlich mannigfache Erfolge eintreten; einer von diesen ist besonders bemerkenswerth; bringt man nämlich ableitende Platten zeitlich nach einander auf 3, 3; 2, 2; 1, 1; 0, 0; I I; II II; III III; IV IV; also auf symmetrisch zur Mittellinie des ganzen Systemes gelegene Punkte, so wird die Magnetnadel gar nicht abgelenkt werden,

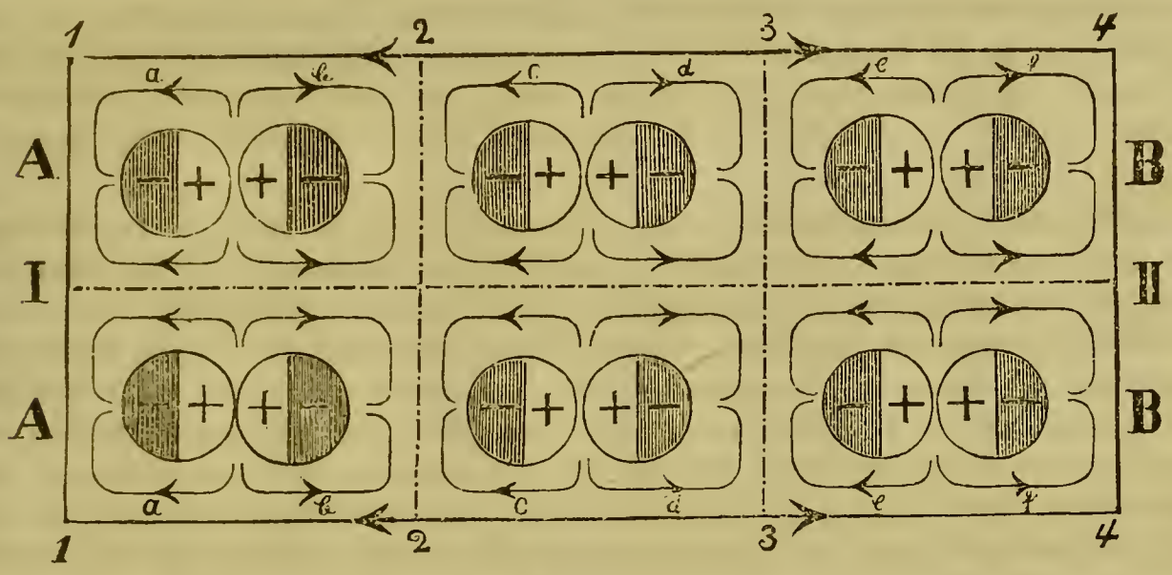
*) Die obige Angabe enthält noch, wie der Wissende sogleich sieht, eine Unrichtigkeit. Dieser Fehler hätte nur vermieden werden können, wenn man entweder ausführlicher als hier möglich die Lehre von den isoelektrischen Curven entwickelt oder ganz darauf verzichtet hätte die Theorie des peripolaren Molekels zu erläutern.

weil die ableitenden Platten jetzt in Orten stehen, die von gleich intensiven aber entgegengesetzt gerichteten elektrischen Strömen durchzogen sind.

Begreiflich wird nun eine Umsetzung der ebenen Form des peripolaren Systems in eine andere z. B. eine cylindrische, die Art des Hergangs nicht wesentlich ändern. Dennoch lohnt es sich der Mühe, noch den Fall zu betrachten, wenn eine grössere Zahl peripolarer Systeme zusammengehäuft vorkommen.

Wir wollen auch in dieser Anordnung voraussetzen, dass sie vollkommen regelmässig sei, sowohl in Beziehung auf die Vertheilung der elektrischen Massen, als auch der leitenden Flüssigkeiten. Diesem System geben wir beispielsweise die in Figur 22 gezeichnete Gestalt.

Fig. 22.



Die um jedes einzelne peripolare Molekel gehenden Grenzströme sind durch den Strich mit dem Pfeil angedeutet, deren Verlauf aus dem vorigen Schema ohne weitere Zusätze klar sein wird. Setzen wir in dieses System bei hinreichender Entfernung der elektromotorischen Theile von einander die ableitenden Platten auf 1 2; 2 3; 3 4; oder auf I II; oder $a\ a$; oder überhaupt auf die öfter wiederkehrenden Stellen gleich starker aber entgegengesetzter Strömung, so erhalten wir keine Nadelablenkung. Wir erhalten dagegen schwache Abweichungen beim Aufsetzen auf ac, $b\alpha$ u. s. w. Das Maximum der möglichen Ablenkung dagegen beim Aufsetzen auf die Punkte aA; eA u. s. w. Stellen, welche offenbar den Punkten 1 I u. s. w. des vorhergehenden Schemas entsprechen.

So mannigfache Analogien dieses eben dargestellte System, das wir schon früher als das Schema der elektrischen Anordnung im Nerven betrachteten, mit dem Nerven darbietet, so beträchtlich weicht es in einem Punkte ab. Von der ganzen Oberfläche des Nerven fanden wir nämlich eine Strömung vom Aequator nach dem Mittelpunkte des Querschnittes, während hier nur zahlreiche Einzelströme um je ein peripolares System sich darstellen.

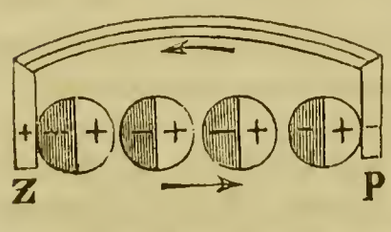
Wenn das hier betrachtete Schema also dem Nerven entsprechen sollte, so müssten die Ströme der einzelnen Glieder unseres Conglomerates sich zu einem Gesammtstrome vereinigen, der in der Richtung der bei 2 und 3 an der Umgrenzung gelegenen Pfeile um das ganze System verliefe. Es fragt sich also, ob die Nerven durch einen solchen Umstand von dem hier betrachteten Schema abweichen, der im Stande wäre, den gefundenen Widerspruch zu lösen; dieses ist nun in der That der Fall. Am Nerven besteht nämlich die in unserem Schema angenommene gleichmässige Vertheilung des feuchten Leiters nicht, indem namentlich die Grenzschichten der Molekeln mit einer leitenden Masse von sehr beträchtlichem Querschnitt überzogen sind, nämlich den in und auf der Scheide befindlichen Flüssigkeiten. Da nun, wie bekannt, die Stärke der Ströme bei gleichen elektromotorischen Kräften in dem Maasse wächst, in welchem der Widerstand abnimmt, und dieser, alles andere gleich

gesetzt, um so geringer wird, je mehr der Querschnitt zunimmt, so werden die Grenzmolekeln einen kräftigeren Strom aussenden als die mittleren. Diese Ungleichheit gibt nun, wie du Bois durch Versuche am Schema erwiessen, Ströme in der Richtung wie sie der Nerv besitzt.

Aus der Betrachtung der verschiedenen hier vorgeführten Schemata und namentlich des letzteren, und aus der Voraussetzung, dass die peripolaren Molekeln von ausserordentlicher Kleinheit sind, ergibt sich auch noch die wichtige Thatsache, dass, abgesehen von allen früheren Mittheilungen in keinem Fall aus der Grösse der Nadelablenkung im Multiplikator auf die absoluten Werthe der Ströme oder gar der elektromotorischen Kräfte in der Kette geschlossen werden kann, und dieses zwar darum nicht, weil durch den Multiplikator nur der Zweig eines Stromes kreisst, der erst selbst wieder aus einer complizirten Gegenwirkung vieler Einzelströme hervorgegangen ist. In der That fand du Bois in seiner aus Zink und Kupfer bestehenden der Fig. 24 entsprechenden Vorrichtung immer nur sehr schwache Nadelablenkungen, obwohl er auch zu ihrer Untersuchung seinen empfindlichen Multiplikator benutzte.

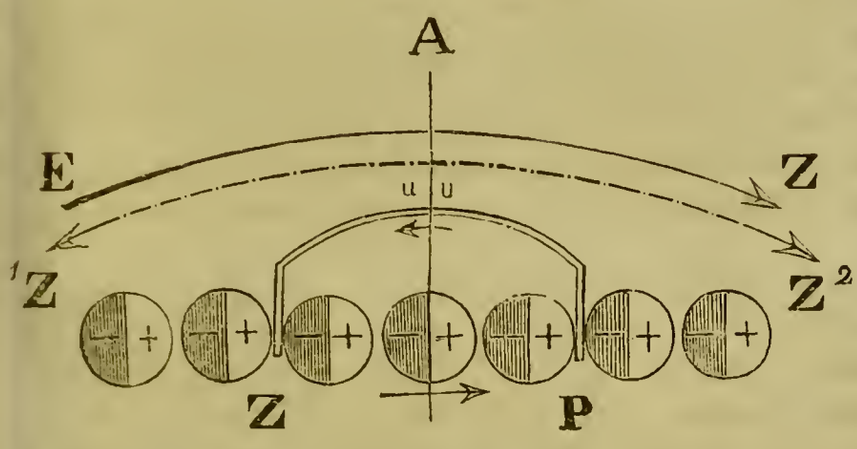
2) Dipolare Anordnung. — Die Gründe, welche die Annahme vertheidigen, dass unter dem Einfluss eines constanten galvanischen Stromes die elektrischen Molekeln des Nerven aus der peripolaren Lage in die dipolare übergehen, sind theils den Beobachtungen am Multiplikator entnommen, theils stützen sie sich auf Folgerungen aus bekannten Wirkungsgesetzen der galvanischen Ströme. Die Thatsache, dass der Nerv während des elektrotonischen Zustandes auch von solchen Stellen seines Verlaufes, die während der Anwesenheit des ruhenden Nervenstroms keine Nadelablenkungen herbeiführen, Ströme von einer solchen Stärke ausschickt, wie sie sonst nur zwischen Quer- und Längenschnitt vorkommen, errweisst, dass auf diesen Stellen nunmehr eine Lagerung der Molekeln eingetreten sein muss, die eine eben so starke Spannung herbeiführt, wie sie früher nur zwischen Quer- und Längenschnitt bestand; mit andern Worten, es müssen hier + und — Theilchen mit einander abwechseln. Da nun aber rings um den Nerven, aller Orten, wo man auch die ableitenden Bäusche anlegen mag, die starken Ströme erscheinen, so muss in sehr kleinen Abständen das + und — mit einander wechseln. Die Theorie, welche du Bois in Folge dieser Thatsachen gibt, empfängt ihre Bekräftigung, wenn man den Hergang am Nerven mit den elektrolytischen Wirkungen vergleicht. Bekanntlich erläutern sich sowohl die Zersetzungserscheinungen, welche ein elektrischer Strom in zerlegbaren Flüssigkeiten herbeiführt als auch die Stromleitung durch dieselben vollkommen, wenn man annimmt, dass die zwischen den Polen gelegenen chemischen Atome ihre negative Seite gegen die positive Elektrode und ihre positive gegen die negative Elektrode wenden. Diese aus der Physik bekannte Darstellung ruft beistehende Fig. 23 in das Gedächtniss zurück. — Ueberträgt man diese Vorstellung einfach auf den Nerven, während sich ein Theil seiner Länge in einer geschlossenen Kette befindet, so müssen die zwischen den Polen dieser letztern gelegenen Molekeln in gleicher Weise geordnet gedacht werden. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Vorgängen, dem physiologischen und physikalischen, besteht darin, dass im elektrotonischen Nerven die Molekeln auch noch jenseits der Pole der geschlossenen Kette, wohin ihr Strom nicht mehr reicht, geordnet werden, was in der elektrolysirbaren Flüssigkeit nicht geschieht, eine Annahme die durch Fig. 24 versinnlicht wird. Die Möglichkeit dieses Geschehens scheint darin zu liegen, dass die Molekeln des Nerven leichter zu elektrolysiren (oder zu polarisiren) sind, als andere complizirte Atome, so dass die innerhalb des Nerven liegenden und schon gerichteten Molekeln wieder richtend auf die anliegenden wirken können. Diesen gegenseitig richtenden Einfluss sind

Fig. 23.



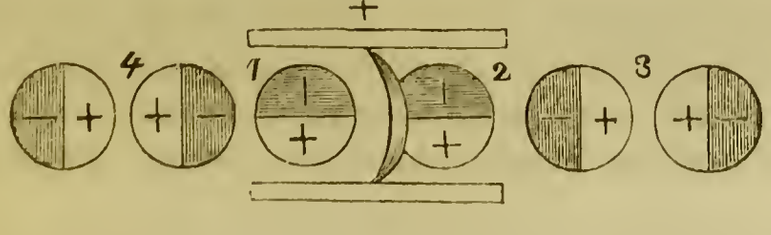
sie jedoch nur bei unmittelbarer Berührung auszuüben im Stande, wie die oben erwähnten Versuche erweisen.

Fig 24.



Aus dieser durch das Vorstehende sehr wohl begründeten Theorie lassen sich nun auch mit aller Schärfe die Gründe für alle Erscheinungen und Veränderungen einsehen, die der elektrotonische Zustand darbietet. — Zunächst ist klar, warum der Zuwachs, den der Nervenstrom während des electrotonischen Zustandes erfährt, auf der einen Seite des erregenden Stromes positiv und auf der andern negativ sein muss. Diess ergibt sich sogleich aus der Betrachtung von Fig. 24. Wir wollen mit dieser annehmen, dass die Pole des erregenden Stromes genau symmetrisch zum Aequator *A* stehen und dass die von ihm ausgehende Stromesrichtung durch den Nerven mit dem Pfeile *Z P* laufe; im Sinne dieser Richtung werden alle Molekeln geordnet, so dass ein Strom nach dem obersten Pfeil *EZ* durch den ganzen Nerven geht. Vor dem Eintreten des elektrotonischen Zustandes verliefen aber in dem Nerven von dem Aequator *A* zwei Ströme in entgegengesetzter Richtung nach den Pfeilen uZ^1 uZ^2. Vergleichen wir beide, den Strom des elektrotonischen Zustandes und den Nervenstrom, so sehen wir, dass $u\,Z^2$ und der neue Strom in gleicher Richtung gehend, sich verstärken werden (positive Phase), während UZ^1 und der Strom des dipolaren Zustandes entgegengesetzt verlaufend, sich schwächen werden (negative Phase). Diese Erklärung vernachlässigt nun aber scheinbar eine Thatsache, die wir oben Seite (85) mitgetheilt, die nämlich, dass das Gesetz des ursprünglichen Nervenstromes noch sichtbar ist, wenn der elektrotonische Zustand eingetreten. Wenn in der That der Nervenstrom von der peripolaren Lagerung der Molekeln abhängt, so muss er momentan verschwinden, so wie die dipolare Anordnung eingetreten; dieser Widerspruch lösst sich aber sehr einfach unter der Voraussetzung, dass in den untersuchten Fällen des elektrotonischen Zustandes die Drehung der Molekeln eine nur unvollkommene gewesen; wenn also die neue Stellung die Mitte hielt zwischen der peripolaren und der dipolaren, so muss in der That die Strömungserscheinung ebenfalls die Resultirende beider sein. — Aus der vorgetragenen Theorie erhellt weiterhin, warum bis zu gewissen Grenzen mit der Stärke und Dichtigkeit des erregenden Stroms die Ausbildung des dipolaren Zustandes wächst, über diese Grenze hinaus aber durch noch weitere Steigerung des erregenden Stromes die Intensität des elektrotonischen Zuwachses nicht vermehrt werden kann. Denn begreiflich wird der elektrotonische Zustand um so ausgeprägter auftreten, je energischer die richtenden Kräfte des erregenden Stromes einwirken; sind aber einmal die Molekeln vollkommen dipolar gestellt, so wird durch weitere Verstärkung der richtenden Kräfte keine höhere Steigerung des dipolaren Zustandes möglich sein. — Fernerhin wird aus der Theorie klar, warum der erregende Strom keine dipolare Anordnung hervorruft, wenn er den Nerven senkrecht gegen seine Längenachse durchsetzt. Denn geht wie in Fig. 25 der Strom von *Z* nach *P* durch den Nerven, so wird er zwar die zwischen den Polen liegenden peripolaren

Fig. 25.



Molekeln dipolar anordnen Diese selbst werden aber die nebenliegenden, aus ihrer ursprünglichen Lage nicht bewegen können, weil, wie die Betrachtung von Molekel 2 und 3, oder 1 und 4 lehrt, das + von 2 das — von 3 um gerade soviel anzieht, als es das — von 2 abstösst. — Schliesslich macht die Theorie begreiflich, warum die Veränderung der durch den Multiplikator gehenden Ströme nach Veränderungen in der Spannweite des ableitenden Bogens zusammentrifft mit derjenigen, die bei Einschiebung neuer Elemente in eine mehrgliederige galvanische Säule beobachtet wird; denn ein einziger Blick auf alle Zeichnungen des Nerven im elektrotonischen Zustand lehrt, dass die Molekeln in ihm ganz nach Art unserer Säulen angeordnet sind.

Die Frage, ob nicht dennoch vielleicht die Nerven unter dem Einfluss des erregenden Stromes ausser der Richtungsveränderung auch eine Verstärkung ihrer elektromotorischen Kräfte erfahren, kann mit grosser Wahrscheinlichkeit verneinend beantwortet werden. — Diese Meinung findet darin ihre Berechtigung, dass der ursprüngliche Strom zwischen der Oberfläche und dem Querschnitte nur eine geringe Steigerung erfährt und namentlich, dass dieser Strom in der negativen Phase nicht umgekehrt wird, was doch eintreten müsste, wenn der (negative) Zuwachs grösser, als der ursprüngliche (positive) Nervenstrom gewesen wäre. Die scheinbare Stärke des Stromes im elektrotonischeu Zustand findet auch darin ihre hinreichende Erklärung, dass die dipolare Anordnung vieler Elemente weit geeigneter ist, eine Resultirende nach aussen zu senden, als die peripolare Anordnung.

Der Anfänger ist hier zugleich auf die grosse Uebereinstimmung in der Magnetisirung des weichen Eisens und der Polarisirung der Nerven durch den elektrotonischen Strom hingewiesen, die an diesem Orte nicht weiter ausgeführt werden kann.

4. Electrisches Verhalten des Nerven, während er sich in einem Zustande befindet, der ihn zur Einleitung der Empfindung, Muskelbewegung und Absonderung befähigt. Negative Stromesschwankung. Der Winkel, um welchen die Nadel durch ein in den Multiplicatorenkreis eingeschaltetes lebendes Nervenstück abgelenkt wurde, erfährt eine Verkleinerung, wenn der Nerv durch irgend ein Mittel in einen Zustand versetzt wird, der eine sogenannte physiologische Leistung (Empfindung, Bewegung, Absonderung) herbeiführen würde, vorausgesetzt, dass der Nerv noch in seinen normalen Verbindungen stände; mit andern Worten, die durch den ruhenden Nervenstrom aus ihrer Gleichgewichtslage getriebene Nadel kehrt gegen ihre Gleichgewichtsstellung zurück, sobald der Nerv erregt wird; die diesem Rückschlag der Nadel zu Grunde liegende Bewegung der Nervenmoleküle bezeichnet du Bois mit dem Namen der negativen Schwankung. In dieser neuen Stellung verharrt die Nadel jedoch nur so lange, als der Nerv im erregten Zustand erhalten wird; mit seinem Aufhören treten die Wirkungen des ruhenden Nervenstroms wieder hervor.

Die Grösse dieser Rückschwankung ist abhängig von folgenden Umständen. a. Sie geht proportional dem Ablenkungswerth, den der ruhende Nervenstrom hervorbrachte. Darum wird ein mehr erregbarer und auch ein dickerer Nerv sie stärker veranlassen, als ein minder erregbarer oder dünnerer; und ferner wird sie grösser ausfallen, wenn der ruhende Nerv mit einer sogenannten kräftigen Anordnung in den

Kreis gelegt wurde, dagegen geringer sein, wenn er mit einer schwachen Anordnung auflag, und ganz fehlen beim Einfügen der unwirksamen Anordnung in den Kreis. — b. Die steigende Entfernung der abgeleiteten Stelle des Nerven von derjenigen, an welcher der erregende Einfluss wirkt, schwächt die Gröse der electronegativen Schwankung. Diese Verminderung der Stärke wächst jedoch nicht so rasch mit der Entfernung von der erregten Stelle, wie dieses beim elektrotonischen Zuwachs der Fall war. — c. Die Grösse der Rückschwankung wächst mit der Stärke der Erregung. Rücksichtlich dieses Punktes muss man im Auge behalten, dass die jetzigen Untersuchungsmethoden bislang nur erlaubten, die durch electrische Ströme in den Muskelnerven erzeugten Erregungsstärken mit den electronegativen Schwankungen in befriedigender Schärfe zu vergleichen.

Da die Stösse, welche der Nerv in der elektronegativen Schwankung seiner Molekeln der Nadel mittheilt, sehr schwach sind, so müssen dieselben längere Zeit auf die Nadel wirken, um einen deutlichen Rückschwung zu erzeugen, oder anders ausgedrückt, es muss der Nerv in einer längere Zeit hindurch andauernden Erregung erhalten werden. Unter den bekannten Hilfsmitteln können wir eine solche vorzugsweise nur durch den elektrischen Strom erzeugen; indem wir diesen aber auf den Nerven einwirken lassen, versetzen wir seine Molekeln in den elektrotonischen Zustand, der auf die Nadel wirkend die zarteren Folgen der elektronegativen Schwankung verwischen würde. Um diese letztere rein zu erhalten genügt es aber einfach den Nerv durch abwechselnd gerichtete Schläge (mit einer im Nerven bald auf- und bald absteigenden Stromesrichtung) zu treffen, wie sie eine gewöhnliche Inductionsmaschine liefert. Dadurch erscheinen im Nervenstück in rascher Folge abwechselnd gerichtete Phasen, die gegenseitig ihre Wirkung auf die Nadel vernichten, weil diese nicht momentan jeder Einwirkung Folge leistet. — Du Bois hat aber auch auf andern als elektrischem Wege die negative Schwankung der Theile durch sehr sinnreiche Methoden der Erregung erwiesen; so hat er namentlich am lebenden Thier auf sog. reflectorischen Wege, und nach Strychnin - Vergiftung, ferner im einzelnen Nerven durch mechanische und kaustische Einwirkungen sie beobachtet. — Die negative Schwankung erscheint, was sehr bemerkenswerth, gewöhnlich nicht in voller Stärke mit der ersten Erregung, sondern erst dann, wenn der Nerv mit zwischen gelegten Pausen einigemal erregt worden war.

Die Fortleitung der electronegativen Schwankung geschieht in allen Nerven, mögen diese im lebenden Körper Empfindung oder Bewegung veranlasst haben, nach beiden Richtungen ihrer Längsachse, so dass wenn man z. B. das Mittelstück eines Nerven erregt, jedes der beiden Enden auf die Bäusche aufgelegt, die Nadel zur Rückschwankung veranlasst.

Der Rückschwung der Nadel kann verschiedene Zustandsveränderungen der Nervenmoleküle bedeuten; entweder könnte er herrühren von einer dauernden Abstumpfung der Gegensätze auf der Oberfläche und dem Querschnitte, oder er könnte wegen der Trägheit der Nadel auch Folge sein von einem stetigen Wechsel der Stromesrichtungen, welche dadurch bedingt wären, dass die Oberfläche aus ihrem + in ein — und der Querschnitt aus seinem — in ein + umschlägt. Diese

letztere Meinung ist wie bei dem electrischen Verhalten der Muskeln dargethan wird, wahrscheinlich die richtige.

Physiologisches Verhalten*). Die Anregung, welche die Nerven der Seele, den Muskeln und Drüsen zur Erzeugung der Empfindung, Bewegung und Absonderung zu ertheilen vermag, belegte man, weil man früher nur diese Aeusserungen des lebenden Nerven kannte, mit dem Namen der physiologischen Nerventhätigkeit oder Nervenkraft. Innerhalb des lebenden Organismus erwecken aber, wie bekannt, die Nerven nicht zu jederzeit die genannten Veränderungen der Organe, denen sie zugeordnet sind, eine Thatsache, die zu der Ableitung führte, dass die Nerven sich zeitweise im Zustande der Thätigkeit oder Kraftentwicklung, zeitweise in dem der Ruhe befänden. Eine noch weiter gehende Erfahrung des täglichen Lebens musste aber bald die Ueberzeugung aufdrängen, dass diese beiden entgegengesetzten Zustände nicht die einzigen dem Nerven zukommenden seien; denn es ergab sich dass ein und derselbe Nerv unter ganz gleichen Umständen das eine Mal zu Thätigkeitsäusserungen geweckt werden konnte, während dies ein anderes Mal nicht geschah. Hieraus folgte der Schluss, dass der ruhende Nerv mindestens zwei Erscheinungsformen besitze, von denen diejenige, in welcher er unter gewissen Umständen zur Thätigkeit zu bringen war, die erregbare, lebende, während die andere der ersteren entgegenstehende, die todte oder unerregbare genannt wurde.

Dem Vorstehenden entsprechend wird der Nerv als ein erregbarer bezeichnet durch die Fähigkeit, unter gewissen Bedingungen in den erregten Zustand übergehen zu können, und dieser letztere Zustand selbst wurde wieder characterisirt durch die Thätigkeitsäusserungen, welche der Nerv gerade in diesem oder jenem mit ihm in Verbindung befindlichen Organ erwecken konnte. Diese Characterisirung ist nur eine höchst unvollkommene, und zwar darum weil sie nicht aus innern Verhältnissen der den Nerven constituirenden elementaren Bedingungen genommen ist. Du Bois ist es gelungen, den ersten und zwar einen sehr bedeutenden Schritt zur schärfern Bestimmung der molekülären Veränderung zu thun, welche mit jenen physiologischen Hand in Hand gehen; er machte die wichtige Entdeckung, dass der ruhende erregbare Nerv diejenige Anordnung elektrischer Molekeln darbiete, in welcher sie den ruhenden Nervenstrom erzeugen, während der Nerv in der Erregung in die negative Stromesschwankung verfällt. Diese Erfahrung regt nun sogleich die Frage an, welche chemische und physikalische Umstände im Nerven die eine oder andere Anordnung der elektrischen Molekeln bedingen, und die weitere, unter welchen besondern Veranlassungen der ruhende Strom in die negative Schwankung, oder anders ausgedrückt,

*) J. Müller Handbuch der Physiologie 4. Aufl. — Volkmann Nervenphysiologie in R. Wagners Handwörterbuch. 2. Bd. — Spiess Physiologie des Nervensystems. Braunschweig 1844. E. H. Weber Tastsinn, Wagners Handwörterb. 3. Bd.

der erregbare Nerv in den erregten übergehe. Auf die erstere der beiden Fragen fehlt uns durchaus noch jede Antwort, und auch die zweite ist nur sehr unvollkommen zu befriedigen, was nun zunächst geschehen soll.

1. Erregungmittel; Reize. Die Einflüsse, welche den erregbaren Nerven in den erregten Zustand versetzen, sind ganz allgemein mechanische Wirkungen, Wärme, Licht, Electricität und eine Zahl von chemischen Atomen, welche zu der Nervensubstanz Verwandtschaft besitzen. Diese Mittel erregen aber erfahrungsgemäss sämmtliche Nerven des Körpers durchaus nicht auf gleiche Weise. Diese Verschiedenheit äussert sich auf dreierlei Art: zuerst darin, dass ein und dasselbe Mittel nicht für alle Nerven Erreger wird; dann dadurch, dass ein Mittel, wenn es verschiedene Nerven erregen kann, in einzelnen derselben ganz besondere Arten der Erregung (qualitativ verschiedene Empfindungen), und endlich darin, dass dasselbe Mittel auf verschiedenen Orten des Verlaufes eines und desselben Nerven von einander abweichende Erfolge erzweckt.

Zur weiteren Ausführung dieser Aussprüche fügen wir bei, dass a) die Retina nur durch Aetherwellen, Electricität und Druck, der nerv. acusticus nur durch Schallschwingung und Electricität; der nerv. olfactorius nur von (aber nicht allen) flüchtigen Stoffen und Electricität (?); die Geschmacksnerven nur durch (aber nicht alle) lösliche Stoffe und Electricität (?); die Gefühlsnerven durch Druck, Wärme, chemische Einwirkungen und Electricität; die Muskelnerven durch Druck, Temperatur, Electricität und eine beschränkte Zahl chemischer Atome, und endlich die Drüsennerven durch chemische und electrische Wirkungen erregt werden. — b) Ein und dasselbe Mittel, insofern es unter den gegebenen Bedingungen Erreger verschiedener Nerven ist, erzeugt in einem jeden dieser verschiedenen Nerven scheinbar oder wirklich von einander abweichende Qualitäten der Empfindung, so z. B. der Druck auf einen Muskelnerven Bewegung, auf einen Hautnerven Schmerz, auf die Retina Lichtempfindung u. s. w. — c) Endlich bringt ein und dasselbe Mittel, auf die peripherischen Verzweigungen angewendet, einen andern Erfolg hervor, als wenn es auf den Verlauf des Nerven einwirkt. Hierher gehört, dass die Erleuchtung der Retina Lichtempfindung hervorruft, die des Opticusstammes dagegen nicht (Helmholtz), und dass eine Wärmeschwankung, auf den Nerven in seiner Hautverbreitung angewendet, Temperaturempfindung, während sie Schmerz erzeugt, wenn sie auf den Stamm des Nerven geschieht. (E. H. Weber.)

2. Gleichartigkeit und Ungleichartigkeit der Nerven; spezifische Energie. Diesen mannigfaltig abweichenden Erfolgen gegenüber erhebt sich die bedeutungsvolle Frage, ob wir weiterhin noch berechtigt sind, die Nerven überall als dieselben anzusehen, oder ob wir nicht vielmehr die Gesammtmasse der Nerven in besondere, spe-

zifisch wirksame Gruppen scheiden müssen. Dieser letzten Nothwendigkeit können wir, wie ersichtlich, nur für den Fall ausweichen, wenn es uns gelingen sollte nachzuweisen, dass die Unterschiede der physiologischen Erscheinungen, welche eintreten wenn verschiedene Nerven in Erregung kommen, nicht abhängig sind von der veränderten Natur des Nerven, sondern der mit ihm in Verbindung stehenden Organe, sei es, dass sich diese am pheripherischen oder centralen Ende des Nerven oder auf seinem Verlaufe finden. Zur Entscheidung dieser Alternative führen drei Wege. — Der erste und geradeste Weg würde darin bestehen den Versuch zu wagen ob es gelänge ein und denselben Nerven mit verschiedenen Organen in wirksame Beziehung zu bringen, denen man hypothetisch eine von einander abweichende physiologische Funktion zuschreibt. Wenn dann mit dem Wechsel der Einpflanzungsstellen der durch die Nervenerregung erzielte Erfolg sich änderte, so dass z. B. aus einem Nerv der bisher Empfindungen erzeugt hätte, ein bewegungseinleitender würde, so dürfte erwiesen sein, dass die Ursache der verschiedenen Leistung nicht in dem Nerven sondern anderswo zu suchen sei. Diesen Gedanken hat Bidder*) auf eine sinnreiche Weise verfolgt, indem er die durchschnittenen Enden des empfindlichen ram. lingualis trigemini und des vorzugsweise bewegenden n. hypoglossus kreuzweise zu verheilen suchte. Leider haben diese Versuche, die mannigfache Wiederholung und Modification verdienten bis jetzt noch kein Resultat ergeben. — Das zweite Beweissmittel würde darin bestehen, darzuthun, dass alle die Ungleichartigkeiten des Erfolges der Nervenerregung aus den Eigenthümlichkeiten der Organe abgeleitet werden könnten, mit denen der Nerv an verschiedenen Orten in Berührung ist. Auch auf diesem Wege ist vorerst noch kein überall hindringender Entscheid zu finden. Sicher steht hier aber schon, dass viele Verschiedenheiten der Wirkung eines Nerven von seiner peripherischen Verbreitung abhängen; denn ein Hautnerv, die Retina u. s. w. können natürlich in ihrer Erregung keine Muskelzuckung erzeugen, weil sie nicht mit einem Muskel in Verbindung stehen. Ferner kann das Licht nicht als Licht sondern nur als Wärme auf die Hautnerven wirken u. s. w. Die Wesentlichkeit der Organe, die an der Peripherie die Nerven umgeben leuchtet ferner noch besonders ein, wenn man erfährt dass ein Hautnerv nur so lange Temperatur empfindet, als er noch in den Tastkörperchen endet und der Opticus nur auf seiner letzten Endigung durch Aetherwellen erregbar ist, — So viel Verschiedenheiten nun aber auch von der Peripherie abhängig sind, so sind sie doch nicht alle davon bedingt; denn in der That zeigen sich auch noch Abweichungen in den Erfolgen der Erreger wenn diese auf die nur noch mit Hirn und Rückenmark verbundenen,

*) Müllers Archiv 1842. Sehr merkwürdige auf diesen Gegenstand bezügliche Erfahrungen siehe bei Flourens, Heusingers Zeits. für org. Physik Bd. II. 1828.

also von der Peripherie getrennten Nervenstümpfe angewendet werden; so bewerkstelligt hier niemals ein Erreger eines Bewegungsnerven Schmerz, ein Druck auf den Hautnerven erzeugt nur Schmerz, ein solcher auf den Opticus nur Lichtempfindung. — Diese übrig bleibenden Unterschiede können aber immer noch auf eine besondere Art der Hirnendigung der Nerven, resp. auf eine Verschiedenheit der sog. Empfindungs- oder Willensorgane geschoben werden; und in Wirklichkeit treten die Nerven je nachdem sie bewegen oder empfinden auf eine ganz abweichende Weise in das Hirn und Rückenmark; und die verschiedenen Empfindungsnerven setzen sich selbst wieder ihren örtlichen und histologischen Verhältnissen nach sehr verschiedentlich in das Hirn ein. — Wenn nun diese Reihe von Betrachtungen mindestens der Annahme nicht entgegensteht, dass der Nerv überall identisch sei, so scheint endlich die letzte Beweisart mit Sicherheit diesen Satz hinzustellen. Denn offenbar wird man die Nerven überall für identisch halten müssen, wenn es durch kein ausserphysiologisches Prüfungsmittel gelingt eine Verschiedenheit zwischen ihnen aufzudekken, mit andern Worten, wenn in wesentlichen Dingen keine auch noch so geringe Abweichung in der physikalischen und chemischen Constitution der Nerven besteht. So weit nun unsere chemischen und mikroskopischen Mittel reichen, finden wir, mit Ausnahme der wenigen in dem anatomischen Verhalten vorgeführten Charaktere, keinen Unterschied zwischen den Nerven. Diese Gründe bedeuten nun freilich für sich wenig, da die chemische Untersuchung des Nerven noch sehr unvollkommen ist und da bei einer vollkommen identischen Form innerhalb des Nerven dennoch die mannigfaltigste Anordnung der kraftentwickelnden Elemente bestehen kann, so dass die Anatomie hier entweder gar nicht, oder nur sehr bedachtsam zur Entscheidung herbeigezogen werden darf. Aber als eine mächtige Hilfe für die Indentitätslehre der Nerven tritt uns endlich das Resultat der electrischen Untersuchung von du Bois entgegen, nach welchem aller Orten die Nerven dieselbe electrische Anordnung darbieten, eine Thatsache deren volle Bedeutung erst später einleuchten wird.

Dass übrigens die Möglichkeit vorliegt, mit einer Art von Nerv, der mit verschiedenen Bewegungs- und Empfindungswerkzeugen verknüpft ist, mannigfaltige Wirkungen zu erzeugen, begreift sogleich auch der Anfänger, wenn er sich die einfachste aller Maschinen, einen Hebel bald mit dem Pendel einer Uhr, bald mit dem Hahn einer Dampfmaschine oder eines Feuergewehrs u. s. w. in Verbindung denkt. — Wir haben es unterlassen die der unsrigen entgegenstehende Vorstellung, nach welcher der Sehnerv ein anderer als der Geruchsnerv u. s. w. sei, der Kritik zu unterwerfen, da sie ausser der vieldeutigen Erscheinung verschiedener physiologischer Leistungen keinen Beweiss für sich vorzubringen vermag.

3. Verschiedene Erregungszustände innerhalb desselben Nerven. Unabhängig von der Behauptung, dass der Nerv überall derselbe sei, steht natürlich diejenige, dass ein und derselbe Nerv in

verschiedene innere Zustände gerathen und demgemäss auch auf die ihm zugeordneten Organe verschiedenartig wirken könne. Dieser Voraussicht entspricht nun auch die Erfahrung insofern, als sie zeigt, dass bei Anwendung verschiedener Erregungsmittel auf dieselbe Stelle desselben Nerven sehr mannigfach abweichende physiologische Erfolge erzeugt werden. Diese Erfolge unterscheiden sich von einander theils qualitativ, theils quantitativ, d. h. entweder tritt, beim Wechsel des Erregers, derselbe Erfolg mit einer grösseren oder geringeren Intensität auf, oder es erscheinen Erfolge, die sich auch ausser der Intensität noch anderweit von einander unterscheiden.

A. Qualitativ verschiedene Erregungszustände. Mit Rücksicht auf dieselben wissen wir weder anzugeben von welchen innern Bedingungen sie abhängen — denn bis auf wenige Fälle verlässt uns hier auch vorerst noch die leitende Hand der Neuro-electrizität — noch auch nach welchen Gesetzen mit dem Wechsel des Erregers die des Zustandes sich ändern. Als einzige im allgemeinen giltige Bemerkung darf nur die angesehen werden, dass durchaus keine Proportionalität zwischen den übrigen Verschiedenheiten eines Erregers und seinen Wirkungen auf den Nerven besteht. Denn es bringen u. A. in der Retina verschiedene Wellenlängen des einen Lichtäthers die gar nicht miteinander vergleichbaren Farbenempfindungen zum Vorschein, während ganz abweichende Erregungsmittel wie Electrizität, Druck und gemischte Aetherwellen das weisse Licht hervorrufen; so erzeugen hohe Temperaturgrade mit der Electrizität und dem Druck Schmerz, während Temperaturschwankungen in den Grenzen von + 10° C bis + 48° C Wärme- und Kälteempfindung bedingen. — Hier bietet sich nun auch die bemerkenswerthe, auf die vorige Untersuchung influenzirende Erscheinung, dass einzelne Nerven wie die des Gehörs, Gesichts, Geschmacks und Geruchs sehr vielfältige Erregungszustände zur Erscheinung bringen, während andere wie die Muskelnerven jede Erregung immer nur durch Muskelzuckung beantworten.

B. Quantitativ verschiedene Erregungszustände. Die Thatsache, dass Empfindung, Bewegung und die von den Nerven abhängige Absonderung zu verschiedenen Zeiten und Umständen mit sehr wechselnder Stärke vor sich gehen, kann möglicherweise, wie eine kurze Ueberlegung ergibt, ebensowohl abhängig sein von dem jeweiligen Zustand der Organe an denen die Nervenerregung gemessen wird, als auch von einer grösseren oder geringeren Fähigkeit der Nerven, den Eindrücken der Erreger Folge zu geben, als endlich von einer wechselnden Stärke der Erreger selbst. Um zu entscheiden von welchem dieser drei Faktoren die Erscheinung abhängig sei, hat man natürlich auf Mittel zu denken, die wechselnden Stärken der physiologischen Leistungen zu messen, während je zwei der erwähnten

Faktoren sich constant erhalten, der dritte dagegen in willkürlich bestimmbaren Veränderungen begriffen ist. Dieser allgemeine Grundsatz schreibt uns also drei Beobachtungsreihen vor; aber nur die Resultate zweier interessiren uns vorerst, nämlich diejenigen, welche darauf ausgehen zu ermitteln, inwiefern der veränderliche quantitative Werth der Erregung abhängig sei, von den Zuständen des Nerven und denen der Erreger. Es muss also in jedem Fall unsere Aufmerksamkeit darauf gerichtet sein, die aus der Empfindlichkeit der Hirnorgane, der Beweglichkeit der Muskeln u. s. w. herfliessenden Variationen zu eliminiren, oder mit andern Worten, bei möglichstem Wechsel der Erreger und der Erregbarkeit und möglichst gleichbleibendem Zustand des Hirns, der Muskeln und Drüsen, die Stärke der Empfindung, Bewegung u. s. w. zu bestimmen. Diesem Ziele nähert man sich, wenn man in vergleichenden Versuchen immer dieselben Nervenröhren und zwar in möglichst rasch aufeinanderfolgenden Zeiten erregt; denn nur unter diesen Umständen darf man die Hoffnung hegen, den Einfluss der Einpflanzungstellen zu eliminiren, und die Organe der Empfindung, Bewegung und Absonderung in gleichen Zuständen der Empfänglichkeit zu treffen, da man ihnen kaum Zeit zur Veränderung gegönnt hat.

Nach einer annähernden Erfüllung dieser obersten Forderung könnten wir nun dazu schreiten uns ein Maass für die Nervenerregung zu suchen, was nur dann zu finden sein würde, wenn wir noch über zwei in Folgendem hervorzuhebende Punkte Auskunft zu erhalten im Stande wären. — Da wir die Nervenerregung messen wollen durch die Grade der von ihr abhängenden Empfindung, Bewegung und Absonderung, so müsste eine Scala derselben festgestellt sein; mit andern Worten, es müsste anzugeben sein, nicht allein wie stark jeder dieser Akte im einzelnen Fall in die Erscheinung tritt, sondern auch welche Summe von Kräften im Innern der Organe bei jeder ihrer zur Erscheinung kommenden Thätigkeiten wirksam wäre. Eine solche Graduirung dieser Funktionen besitzen wir aber weder, noch eröffnet sich irgend eine Aussicht demnächst zu einer solchen zu gelangen. Somit besteht von dieser Seite aus betrachtet unsere Messung in nichts anderm als in einer ungefähren Schätzung, ob diese oder jene Bewegung, Empfindung oder Absonderung stärker oder schwächer sei als eine andere. Diese ungefähre Vergleichung ist zudem nur zulässig zwischen verschiedenen Werthen gleichartiger Vorgänge, d. h. es können nur zwei Lichtempfindungen, zwei Tastempfindungen, zwei Muskelbewegungen u. s. w. gegeneinander abgewogen werden, während zwei Werthe specifisch verschiedener Empfindungen ebenso incommensurabel sind, als die einer Empfindung mit einer Bewegung u. s. w.

Diese Armuth unsrer Hülfsmittel zwingt uns die Vergleiche der Erregung sehr zu beschränken; aber immerhin würde die gewonnene Schätzung noch ungemein werthvoll sein, wenn ein anderer Umstand

aufgeklärt wäre, der nämlich, in welchem Verhältniss die in den Empfindungsorganen, Muskeln und Drüsen entwickelten Kräfte wachsen mit den sie erregenden Nervenkräften. Denn bei den Gegenwirkungen so complicirter Apparate ist die Annahme sehr unwahrscheinlich, dass das Wachsthum ein direkt proportionales sei, in der Art, dass bei einer um den doppelten Werth gesteigerten Nervenerregung auch eine doppelt so starke Erhöhung einer durch sie veranlassten Muskelzusammenziehung, Empfindung oder Absonderung bewirkt werde. Im Gegentheil, man kann aus später zu erwähnenden Erfahrungen wohl als gewiss annehmen, dass das gegenseitige Abhängigkeitsverhältniss ein ganz anderes, wenn auch noch vollkommen unbekanntes ist. Somit möchte der einzige Schluss, den wir wagen dürfen, darin bestehen, dass der stärkeren Erregung eines Nerven eine stärkere Erregung der Empfindungsorgane, Muskeln und Drüsen entspreche, als einer schwächeren.

a) Wechsel der Erregung mit der Erregbarkeit; Bedingungen der wechselnden Erregbarkeit. Die bis hierher geführten Betrachtungen haben übereinstimmend gezeigt, dass die Nerven keine constanten sondern sehr veränderliche Apparate seien; wie sehr diese Veränderungen im Innern des Nerven, dieser Wechsel in seiner chemischen Zusammensetzung, in seiner Wärme, in seinen electrischen Gegensätzen auf seine physiologische Leistungsfähigkeit von Einfluss, haben wir schon angedeutet, als erwähnt wurde, dass das in seiner Form scheinbar noch unangetastete Primitivrohr bald erregbar und bald nicht mehr erregbar sei. Hier ist nun der Ort auf diesen Zusammenhang genauer einzugehen.

Um dieses in erschöpfender Weise möglich zu machen, bedürften wir eines Verfahrens, welches uns die veränderlichen Werthe der physiologischen Leistung zugleich mit den Veränderungen der Erregbarkeit messen oder schätzen lehrte; dass wir aber über ein solches nicht gebieten, bedarf keiner besonderen Auseinandersetzung, sowie man sich nur in das Gedächtniss zurückruft, dass der Maassstab für die Modification der Erregbarkeit gegeben werden soll durch die grösseren oder geringeren Werthe der Absonderung, Bewegung oder Empfindung. Die messenden Versuche, welche wir also entweder über den Einfluss der Erregbarkeit der Nerven auf die Grösse der physiologischen Leistung, oder über den Einfluss irgend welcher anderweitiger Einwirkungen auf die Erregbarkeit des Nerven anstellen können, werden sich darauf beschränken müssen ungefähr schätzend anzugeben, ob der Intensitätswechsel der physiologischen Leistung, welche ein und derselbe Nerv hervorzubringen im Stande ist, überhaupt abhängig sei von einer Steigerung oder Schwächung der Erregbarkeit, und ferner ob dieser oder jener auf den Nerven wirkende Einfluss oder

in ihm vorhandene Zustand seine physiologische Leistungsfähigkeit erhöhe oder erniedrige.

Mit Rücksicht auf den ersten Punkt lehrt nun die Erfahrung, dass häufig ganz verschiedene Intensitäten der Bewegung, Empfindung und Absonderung erscheinen, selbst wenn wir ein und denselben Nerven an ein und derselben Stelle, in gleicher Ausdehnung zu verschiedener Zeit genau demselben erregenden Mittel unterwerfen, und zwar unter Umständen, in denen höchst wahrscheinlich das zur Messung dienende physiologische Organ (Hirn, Drüse, Muskel) keine Veränderung seines Zustandes erlitten hat. Da in diesen beiden Fällen alles übrige sich gleich verhielt, so kann die sinkende oder steigende Veränderung an dem Werth der physiologischen Leistung nur abhängig gemacht werden von einem wechselnden Verhalten des Nerven, mit andern Worten von Veränderung seiner Erregbarkeit. Wir halten uns nun zu dem Schluss berechtigt, dass die Erregbarkeit von der einen zu der andern Zeit vermindert sei, wenn es nothwendig wird die Intensität des erregenden Mittels zu erhöhen, um bei einer zweiten Anwendung dieses letztern denselben Effekt zu erzeugen, den es in seiner ersten Anwendung schon bei einer geringeren Intensität hervorbrachte.

Die zweite der uns hier berührenden Fragen, die nämlich aus welchen näheren oder entfernteren Gründen die Erregbarkeit steige und falle, wäre naturgemäss dahin schärfer zu stellen, mit welchem Wasser-, Salz-, Fett-, Eiweissgehalt, welcher Temperatur, welchen electromotorischen Kräften u. s. w. nimmt das Vermögen des Nerven in Erregung zu gerathen ab oder zu; leider macht der gegenwärtige Stand der physikalischen und chemischen Nervenanalyse, eine solche Fragestellung bis auf einen Punkt illusorisch. Dieser einzige betrifft aber wieder den Zusammenhang zwischen physiologischer und electromotorischer Wirksamkeit des Nerven, den du Bois dahin festgestellt hat, dass die höchsten und niedrigsten Werthe beider zusammenfallen, oder mit andern Worten ein Nerv, der die Angriffe des geringfügigsten Erregungsmittels mit starken physiologischen Leistungen beantwortet, lenkt auch die Magnetnadel am beträchtlichsten ab, und umgekehrt ein Nerv, der unter dem Einfluss der kräftigsten Erregungsmittel durchaus keine physiologischen Leistungen mehr hervorruft, hat auch seinen electrischen Strom eingebüsst. Dass nun diese Uebereinstimmung beider Funktionen nicht allein für diese Grenzfälle, sondern für alle in der Mitte liegenden gelte, wird dadurch gewiss, dass dieselben noch näher zu besprechenden Umstände in gleicher Richtung, (schwächend oder stärkend) in welcher sie erregbarkeitsverändernd wirken, auch den ruhenden Nervenstrom affiziren.

Nächst der so eben behandelten Stellung der Frage ist nun noch eine andere gestattet: in welcher Weise wird die Erregbarkeit verändert durch die von aussen zum Nerven tretenden Einflüsse, z. B.

Druck, Temperatur, u. s. w., oder durch die im Nerven entwickelten Kräfte (z. B. durch den ruhenden Nervenstrom, die Erregung selbst u. s. w.). Obwohl diese Art von Fragen weit weniger tief in den innern Zusammenhang der Erregbarkeitsveränderung eindringen, so sind sie immerhin von praktischer Bedeutung und theoretisch insofern wichtig, als sie zu Antworten führen können, die vielleicht auch noch einen Schluss auf besondere Arten von molekulären Veränderungen innerhalb der Nerven erlauben.

Bevor wir nun aber zur Mittheilung der vorliegenden hierher einschläglichen Thatsachen übergehen, ist anzuführen, dass streng genommen nur die Resultate derjenigen Untersuchungen Berücksichtigung verdienen, bei denen man sich überzeugt hat, dass der Einfluss, den man prüfen wollte, der einzige besondere war, der auf den Nerven wirkte, oder dass man mindestens, wenn gleichzeitig der Nerv mehreren unterthan war, schon angeben konnte, in welcher Richtung die erregbarkeitsverändernden Eigenschaften eines jeden einzelnen liegen. — Ausserdem muss aber auch jede der früheren Vorsichtsmassregeln (Erregung desselben Nervenstücks durch denselben Erreger) in Anwendung gebracht sein. — Dagegen ist es erlaubt und sogar räthlich in den verschiedenen Versuchen die immer gleichstarken Erregungsmittel durch solche zu ersetzen, deren Intensität ungefähr proportional der Veränderung der Erregbarkeit schwankt, so dass z. B. bei abnehmender Erregbarkeit des Nerven die Stärke des erregenden Mittels in dem Maasse gesteigert wird, um jedesmal einen ungefähr gleichmächtigen physiologischen Effekt zu erzielen. Diese Veränderung des Verfahrens gewährt den schätzenswerthen Vortheil die wechselnde Stärke der Erreger selbst als Kennzeichen für die Richtung, in welcher sich die Erregbarkeit ändert, benutzen zu können.

Die Umstände, welche erfahrungsgemäss die Erregbarkeit umändern sind:

α) Der Zustand der Erregung. Die besondern Bedingungen, unter welchen die Richtigkeit der folgenden Mittheilungen gilt, bestehen darin, dass der erregte Zustand nicht durch Zeiten der Ruhe unterbrochen und ferner, dass der Nerv vollkommen den Einwirkungen des normalen Lebens z. B. des Blutstroms u. s. w. entzogen sei; dieses wird erreicht, wenn der Nerv entweder am getödteten Thiere untersucht oder wenn der untersuchte Theil möglichst von seiner Umgebung isolirt wird. Die Erregung mindert unter diesen Umständen in jedem Fall die Erregbarkeit; der Grad ihrer schwächenden Wirkung ist aber abhängig von der Zeitdauer und Stärke der Erregung, und beide wirken wiederum auf den einen Nerven anders als auf den andern. — Alles andere gleichgesetzt nimmt die Schwächung zu mit der Zeitdauer der bestehenden Erregung; und ebenso verhält es sich auch mit der Stärke der Erre-

gung, indem die kräftigere beträchtlichere Schwächungszustände hinterlässt als die weniger kräftige, vorausgesetzt dass beidesmal die Erregung gleich lange andauerte. — Die Zeiten und Intensitäten der Erregung, welche zwei verschiedene Nerven auf ein gleiches Maass der Erschöpfung bringen, sind aber sehr ungleich; mit andern Worten, ein Nerv ist leichter erschöpft als der andere. Angesichts der Anschauungen älterer Physiologen über die sog. Nervenkräfte ist als Erfahrung von Bedeutung, dass die Schwächung, welche die Erregung erzeugt, nicht Hand in Hand geht mit dem Grade der Erregbarkeit, welche vorhanden war, als die Erregung begann. Denn oft sind sehr erregbare Nerven fast momentan erschöpft, während sie in andern Fällen beträchtlich ausdauern; und im Gegensatz hierzu finden sich weniger erregbare Nerven (welche intensivere Erreger zur Erzeugung gleichwerthiger Leistungen bedürfen) oft im Stande längere Zeit die Erregung zu ertragen, während sie auch häufig rasch in der Erregung absterben.

Das zuletzt erwähnte Verhalten der Nervenröhre hat älteren Aerzten Veranlassung gegeben zur Aufstellung von mancherlei Arten der Nervenkräfte die in dieser Art der Auffassung der Vergessenheit anheimzufallen verdienen. — Es darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass man die Schwäche der Erregbarkeit in dem Nervenstücke, welches dem Erreger unmittelbar ausgesetzt war, nicht zur Schätzung der durch die Erregung herbeigeführten Schwächung benutzen darf, da auf dieses neben der Erregung der meist noch spezifisch störende Einfluss des Erregungsmittels wirkte, und sich somit an diesem Orte zwei schädliche Wirkungen summirt haben.—

β) Wie im erregten, so ist auch im ruhenden Zustand der Nerv in einer allmäligen Veränderung seiner inneren Verhältnisse begriffen, selbst wenn er sich unter Umständen befindet, in denen scheinbar durchaus keine anderweitigen verändernden Einflüsse auf ihn wirken. Der aus seinem Zusammenhang mit dem lebenden Thier gelösste Nerv erleidet während seiner Ruhe Veränderungen, in Folge deren die Erregbarkeit desselben sich bald zu heben und bald zu senken vermag. — Der erste Fall, die Hebung der Erregbarkeit, wird beobachtet, wenn der Nerv durch eine vorhergehende Erregung erschöpft war; denn es stellt sich die in der Erregung vernichtete Erregbarkeit wieder her, wenn er einige Zeit der Ruhe überlassen wurde. Dieser wiederherstellende Einfluss der Ruhe macht sich aber nicht unter allen Umständen in gleichem Maasse geltend; namentlich ist es Thatsache dass die Leistungsfähigkeit des Nerven immer mehr und mehr abnimmt, je öfter sie in der Erregungspause wieder erlangt war, mit andern Worten, ein Nerv der nach einer ersten Erregung in der Ruhe sich rasch erholte, erhält in der auf eine zweite Erregung folgenden Ruhezeit seine Erregbarkeit nur in sehr unvollkommener Weise wieder, und erholt sich, wenn er zum dritten oder vierten Male erschöpft war, gar nicht mehr. — Die Ruhe, welche nach der Erregung sich so wohlthätig erwiess, kann nun aber, vorausgesetzt, dass sie anhaltend ge-

nug wirkte, den erregbarsten Nerven abtödten; diese Behauptung bestätigt sich nicht allein an dem ausgeschnittenen, sonst aber vor schädlichen Einflüssen geschützten Nerven, sondern auch noch dann, wenn sich der Nerv unter den günstigsten Bedingungen findet, indem er auch innerhalb des lebenden Thiers seine Erregbarkeit einbüsst, vorausgesetzt dass er lange Zeit hindurch jeder Art von Erregung entzogen war. Der einzige Unterschied der zwischen dem ausgeschnittenen und dem normal gelagerten Nerven in dieser Beziehung vorkommt ist der, dass der erstere im Allgemeinen rascher abstirbt als der letztere. — Obwohl uns der Verlauf der Dinge, durch welchen im ruhenden Nerv die Erregbarkeit vernichtet wird, unbekannt ist, so dürfen wir doch mindestens behaupten, dass dieses geschehe in Folge einer Zerstörung des ganzen Nerven, welche während andauernder Ruhe eingeleitet wird. Denn es lehrt uns die mikroskopische Betrachtung, dass der ruhende Nerv allmälig seine optischen Eigenschaften ändere, und namentlich dass die homogene Röhre doppelte Contouren annimmt, indem sich ihr Inhalt in einen wässerigen und öligen Theil scheidet, und ihre Hülle sich faltet. So weit uns das optische Verhalten Aufschluss gewährt, sind die ersten Stadien der Umsetzung auffallend übereinstimmend, wenn auch die anderweitigen Bedingungen, unter denen der ruhige Nerv abstirbt, von einander sehr abweichen; denn sie sind dieselben, mag auch der Nerv im todten oder lebenden Thier seine Erregbarkeit aufgeben.

Wenn die unter α und β vorgeführten Beobachtungen beweissen, dass der Erregungs- und Ruhezustand den Nerven zerstören, so zeigen sie aber auch zugleich, dass der innere Hergang beider Zerstörungsprozesse ein verschiedener sei. Zunächst ist der in der Erregung vorgehende Zerstörungsprozess viel intensiver als der in der Ruhe vorkommende; denn es kann der Nerv die Ruhe viel länger ertragen, als das Gegentheil. — Dann aber heben sich auch die aus beiden Vorgängen zum Vorschein kommenden Störungen gegenseitig auf, wie daraus einleuchtet, dass zur Erhaltung des normalen Nerven, das abwechselnde Erscheinen beider Zustände nöthig ist. Dieses Aufheben der Störungen darf jedoch nicht so aufgefasst werden, als ob die in der Erregung zu Stande gekommenen Umsetzungen unter Beihülfe der in der Ruhe erschienenen die Erregbarkeit wieder herzustellen vermögten; denn wäre dieses der Fall, wären sie mit andern Worten nach entgegengesetzten Richtungen gehende Vorgänge, so müsste ohne Zuthun eines andern helfenden Umstandes, die Erregbarkeit sich in's Unendliche erhalten lassen, vorausgesetzt, dass nur Ruhe und Erregung auf zweckmässige Art mit einander wechselten. Da dieses nicht der Fall ist, so kann man sich höchstens den Werth der Alternative für die Erhaltung der Erregbarkeit so vorstellen, dass durch dieselbe irgend welche Hemmungen entfernt werden, welche, wenn sie vorhanden sind, andern Prozessen, die die Erregbarkeit wieder herzustellen vermögen, einen Widerstand entgegensetzen. Dieser Annahme entspricht nun die Thatsache, dass die Alternative um so günstiger wirkt, je mehr der Nerv mit normalem arteriellem Blut in Berührung ist. Concret ausgedrückt würde der obige Satz dahin lauten, dass durch den Wechsel von Ruhe und Erregung im Nerven sich Umstände bilden, welche die Neubildung der zersetzten Nerven aus dem Blute begünstigen.

Wie sich die Nerven rücksichtlich ihres Widerstandsvermögens gegen die vernichtenden Einwirkungen der Erregung verschieden verhalten, so widerstehen sie auch mit verschiedener Energie den schwächenden Einwirkungen der Prozesse, welche im physiologischen Ruhezustand in ihnen vorgehen; wir behaupten dieses darum, weil der eine Nerv in der Ruhe viel rascher seine Erregbarkeit verliert, als der andere. Vor allem zeichnen sich als leicht zerstörbare die Röhren des Hirns, Rückenmarks und die der höhern Sinnesnerven aus, während die Muskelnerven im allgemeinen länger ihre Erregbarkeit behaupten.

γ) Einen die Erregbarkeit des Nerven erhaltenden Einfluss übt die Verbindung des Nervenrohres mit dem Hirn und Rückenmark. — Nach J. Müller's Entdeckung und den Bestätigungen zahlreicher anderer Beobachter steht es fest, dass das vom Hirn und Rückenmark getrennte Stück eines durchnittenen Nerven im lebenden Thier nach 5 bis 6 Tagen sein normales mikroskopisches Verhalten ändert und seine Erregbarkeit vollkommen einbüsst. Da die Muskelnerven im lebenden Thiere vorzugsweise im Hirn (dem Sitze des willkührlichen Vermögens) und im Rückenmark und die Empfindungsnerven aber an der Oberfläche des Körpers mit den sie erregenden Mitteln in Verbindung sind, so complizirt sich für beide Durchschnitte an den Nerven der Fall in der Art, dass das vom Hirn und dem Rückenmark abgetrennte Stück des Muskelnerven auch noch dazu in eine stetige Ruhe versetzt wird; es summiren sich also hier zwei schädliche Mächte, während das abgeschnittene Ende des empfindlichen Nerven, das den gewöhnlichen erregenden Einflüssen noch ausgesetzt ist nur unter der Trennung vom Hirn und Rückenmark leidet. Da nun, wie erwähnt, dieses Stück seine Struktur (und somit seine Erregbarkeit) eingebüsst hat, zu einer Zeit, in welcher das der Erregung entzogene, aber mit den nervigten Centralorganen in Verbindung befindliche Stück des Nerven sie noch besitzt, so scheint somit der schädliche Einfluss dieser Trennung erwiesen.

So bedeutungsvoll für die Erhaltung der Nerveneigenschaften sich nun auch die Verbindung mit den Centralorganen erweist, so wenig ist sie (wie ältere Aerzte glaubten) als der einzige Bestimmungsgrund derselben anzusehen, wie schon daraus sich ergiebt, dass auch das mit dem Hirn in Verbindung befindliche Ende der sensiblen Nerven allmälig abstirbt, in Folge der ihm mangelnden Erregung.

δ) Die Einwirkung chemischer Stoffe auf die Nervensubstanz vermag, auch ohne eine Erregung zu erzeugen oder zu unterdrücken, die Erregbarkeit zu erhöhen oder zu erniedrigen, resp. zu vernichten, und dieses letztere zwar entweder nur momentan oder dauernd. Zuerst wird man nun schwerlich einen wesentlichen Irrthum begehen, wenn man die Stoffe für fördernde ansieht, welche im Stande sind, die normale chemische Zusammensetzung des Nerven zu erhalten; bei der

complizirten Zusammensetzung des Nerven wird dieser Aufgabe wiederum nur eine Flüssigkeit sehr zusammengesetzter Art gewachsen sein, welche nicht allein alle die wesentlichen Nervenstoffe, sondern sie auch in dem bestimmten Verhältniss enthält, die es ihr ermöglichen sie dem Nerven in dem der normalen Zusammensetzung entsprechenden Verhältniss zu liefern, eine Flüssigkeit, welche ferner so gestaltet ist, dass sie ihre Stoffe leicht an den Nerven abgibt, und die schliesslich auch die im Nerven entstandenen störenden Umsezzungsprodukte anzieht und somit aus dem Nerven entfernt. Diesen mannigfachen Bedingungen genügt, soweit wir durch Erfahrung wissen, nur eine Flüssigkeit, das sog. arterielle Blut. Da diese Flüssigkeit aber bei den zahlreichen Thierarten, die sich einer lebhaften Erregbarkeit erfreuen, neben grossen Aehnlichkeiten sehr beträchtliche Verschiedenheiten bietet, so schliesst man mit Recht, dass entweder nicht alle das Blut constituirende Stoffe zur Erhaltung der Erregbarkeit nöthig, oder dass bei verschiedenen Thieren die Nervenzusammensetzung wechselnd sein müsse. — Alle andere Flüssigkeiten, die den gemachten Anforderungen nicht genügen, dürften darum als schädliche angesehen werden, eine Annahme, die insofern durch die Erfahrung unterstützt wird, als beobachtungsgemäss schon ein Blut, welches wenig oder gar keinen Sauerstoff enthält, reicher an Wasser, Kochsalz u. s. w., ist, als ein normales sich zur Erhaltung der Erregbarkeit unfähig, ja sogar vernichtend erweisst. — Wir besitzen nun eine grosse Zahl von Beobachtungen, welche das Verhalten chemischer Substanzen gegen den erregbaren Nerven betreffen. Aus ihnen ergibt sich, dass alle Stoffe, welche den Nerven allmählig auflösen, oder die, welche eine Verwandtschaft zu Fetten, Eiweissstoffen und dem Wasser zeigen, oder sie durch katalytische Wirkungen verändern, die Erregbarkeit vernichten. Einige dieser verändernden Stoffe zerstören bei ihrer Einwirkung den Nerven vollkommen, wie z. B. Säuren und Alkalien, so dass auch nach ihrer Entfernung der Nerv immer vollkommen todt zurückbleibt, andere aber, wie das Kochsalz, nur so lange sie gegenwärtig, indem der Nerv nach ihrer Entfernung wieder erregbar wird. — Ferner ist es eine aus chemischen Prinzipien leicht ableitbare und durch die Erfahrung bestätigte Folgerung, dass eine Lösung bei geringerem Prozentgehalt anders wirkt, als bei höherem, und ferner, dass ein Stoff im Gemenge mit andern und namentlich im Gemenge mit den Blutbestandtheilen (wegen eintretender secundärer Zersetzungen) ganz anders wirkt, als für sich allein u. s. w. Das Einzelne gewährt bei dem niedrigen Stand unsrer chemischen Kenntnisse über die Nervensubstanz ein geringes Interesse.

Ausser den schon genannten mineralischen und den meisten organischen Säuren und Alkalien, zerstören die Nervenerregbarkeit namentlich Aether, Alkohol, wässrige Opiumtinktur, Kreosot, verdünnte Lösungen der Metall- und dichtere der Neutral und

Haloidsalze; indifferenter erscheinen Blausäure, Strychninlösung, Wasser und fette Oele, indem in diesen ein abgeschnittenes Nervenstück seine Erregbarkeit nur um weniges früher einbüsst, als in einem vor Verdunstung geschützten Raume.

Vielleicht stehen mit den eben gemeldeten Thatsachen die Erscheinungen in Verbindung, dass die Erregbarkeit der Nerven mit den Jahreszeiten [welche das Futter und damit die Zusammensetzung des Blutes ändern] veränderlich ist, wie denn die Frösche im Herbst und Frühjahr (vor der Begattung) erregbarer sind, als im hohen Sommer oder tiefen Winter, ferner dass uns die Abend- und die Jugendzeit gewöhnlich erregbarer findet, als der Morgen und das Alter u. s. w. —

ε) Die Wärme, welche sich nach oben oder unten beträchtlich von derjenigen entfernt, in welcher der Nerv im lebenden Thier sich findet, vernichtet die Erregbarkeit, selbst wenn sonst alle Bedingungen zur Erhaltung derselben gegeben sind. Eckhard*) legte, um die Erscheinungen zu studiren, die noch mit einem Muskel in Verbindung befindlichen Nerven eines Frosches in Wasser von verschiedenen aber jedesmal constanten Temperaturen und prüfte dann von Zeit zu Zeit das Vorhandensein der Erregbarkeit mittelst eines elektrischen Schlages. Hier ergab sich, dass in Wasser von + 10° bis + 20° R., der Nerv nicht merklich rascher abstarb, als in feuchter Luft gleicher Temperatur. Im Wasser von 0° starb der Nerv binnen 45 Sekunden und bei — 3° bis — 5° starb er momentan ab; in einer Temperatur von 30° erhielt er sich 12 bis 15 Sekunden und in einer solchen von + 55° bis + 60° war er nur noch momentan erregbar. Aehnlich verhalten sich nach E. H. Weber die Hautnerven des Menschen. Aus dem Mitgetheilten ergibt sich von selbst, dass nur enge Wärmegrenzen die Erhaltung der Erregbarkeit begünstigen. —

η) Der elektrische Strom wirkt unter allen Umständen schwächend auf den Nerven; diese Schwächung geht jedoch nicht durchweg proportional der Dichtigkeit und Intensität derselben, denn obwohl dichtere und intensivere Ströme, gemäss ihrer elektrolytischen Kraft, rascher den Nerven angreifen, als schwache und weniger dichte, so zeigt sich doch auch noch innerhalb gewisser Grenzen die Richtung, und durchgreifend die Schwankung, oder die Veränderlichkeit ihrer Stärken während der Dauer ihrer Anwesenheit von Bedeutung. Nach Ritter sollen nämlich schwache Ströme, wenn sie aufsteigend (von der Nervenendung gegen den Ursprung im Hirn und Rückenmark) den Nerven durchlaufen, eher die Erregbarkeit erhöhen als schwächen, während die absteigenden schwächen sollen. Die Erregbarkeit wird dagegen durch einen äusserst schwachen, durch gewöhn-

*) Ueber die Einwirkung der Temperatur etc. Henle u. Pfeufer X. Bd. 165. Die von Pickford im ersten Band der neuen Folge derselben Zeitschrift gegebenen Mittheilungen über denselben Gegenstand können leider nicht benutzt werden, weil sie theils sich selbst widersprechen, vorzugsweise aber weil die Methoden, die zur Feststellung der Thatsachen benutzt wurden, vielfach mit Fehlern behaftet sind.

liche Galvanometer kaum messbaren Strom sehr herabgedrückt, vorausgesetzt dass die Stromstärke in einer beständigen Schwankung begriffen ist. Der Grund für diese scheinbar sonderbare Erscheinung liegt darin, dass eine solche Art des Stroms die lebhaftesten Erregerwirkungen besitzt, so dass also hier die Elektrizität indirekt die Schwächung bedingt. (Siehe über Erregbarkeitsveränderung durch den elektrischen Strom den verkürzten Zustand der Muskels.)

ϑ) Schwächend wirkt endlich auch eine Erschütterung, oder eine Zerrung oder ein sanfter Druck, selbst wenn sie so allmählig geschehen, dass sie gar keine Erregung bedingen. Ein allgemein bekanntes Beispiel für die schwächende Wirkung dieser mechanischen Eingriffe bietet das sog. Einschlafen der Glieder, welches meist bedingt ist durch einen sanften und anhaltenden Druck auf den Nervenstamm der zu den eingeschlafenen Muskeln oder Hautflächen sich begibt. Je anhaltender ein solcher Druck wirkte, um so intensiver und um so länger dauernd erscheint der Zustand des Gliederschlafs. —

Die älteren Theoretiker erschlossen aus den Thatsachen, dass die Erregung die Erregbarkeit vernichte, während sie in der darauffolgenden Ruhe sich wieder herstelle, auf die Gegenwart eines Nervenäthers, welcher in der Ruhe im Nerven in einem gespannten Zustand angehäuft und in der Erregung frei werde. Diese Lehre empfängt aber den Todesstoss durch die Reihe von Thatsachen, nach welchen auch ohne Erregung, also ohne Verbrauch des angehäuften Aethers die Schwächung sich ereignet. Da aber alles was die physikalische und chemische Constitution ändert, den Nerven schwächt und umgekehrt die Gegenwart solcher Einflüsse, die des Blutes und der Wärme nemlich, welche die Entstehung des Nerven bedingten auch die Nerven stärkt, so schliessen wir jetzt, dass ein Nerv durch die Erregung, zu lang dauernde Ruhe, Erhitzung, Erkältung, elektrische Ströme u. s. w. mehr oder weniger zerstört werde, und dass daher die Veränderung in der Erregbarkeit abzuleiten sei.

Eine genauere Betrachtung der Erregbarkeitsverhältnisse, als wir denselben bisher zu Theil werden liessen, ergibt, dass die angeführte Kategorie von Schwächung und Stärkung der Erregung weitab nicht ausreichen, um Alles hierher einschlagende zu umspannen. — Häufig ereignet es sich nämlich, dass der Nerv auch in der Qualität seiner Erregbarkeit Veränderungen erleidet, indem ein sehr erregbarer Nerv sich unter Umständen gegen ein Mittel vollkommen wirkungslos verhält, das zu jeder andern Zeit ihn sehr intensiv erregt haben würde. Mit andern Worten, es kommen Zustände im Nerven vor, in denen er nur gegen einen seiner gewöhnlichen Erreger abgestumpft ist, während er die Angriffe aller andern beantwortet. Hierher gehört z. B. der bekannte Fall, dass die eine Farbe den Sehnerven nicht mehr zur Empfindung weckt, während er alle andern sehr lebhaft fühlt. Wir wissen über die Ursachen dieses bemerkenswerthen Phänomens nur mitzutheilen, dass anhaltende Dauer einer Einwirkung die Empfänglichkeit des Nerven für dieselbe abstumpft. — Siehe hierüber u. A. subjective Farben beim Gesichtssinn.

b) Wechsel der Erregung mit dem Erreger. Die Beobachtung, welche sich bemüht, die gesetzmässigen Veränderlichkeiten der Erregungsstärke als eine Folge der wechselnden Kraft des Erregers aufzufassen, hat zuerst die Aufgabe, während möglichst wechselvoller Einwirkung des Erregers die Erregbarkeit entweder constant zu erhalten oder ihre Veränderungen zu eliminiren.

Dieser Forderung ist annähernd genügt 1) wenn man die Versuche in denen verschiedene Intensitäten der Erreger auf den Nerven wirken, möglichst rasch auf einander folgen lässt, damit, (vorausgesetzt, es seien die Angriffe der Erreger nicht zu heftig gewesen) sich die Erregung von einem zum andern Versuch nicht wesentlich verändern kann. Hierbei ist es Regel, die Versuchsreihe mit der schwächsten Einwirkung beginnen zu lassen. Oder 2) man lässt die zu prüfenden in ihrer Stärke unterschiedenen Erreger zweimal in umgekehrter Reihenfolge auf den Nerven wirken, so dass man z. B. zuerst den Erreger der Stärke 1, dann den von der Stärke 2 anwendet und dann zum zweitenmal den von der Stärke 1. Man gewinnt dadurch für den ersten Erreger Beobachtungen aus zwei Erregungsstufen, von denen die eine höher und die andere niedriger steht, als diejenige, bei welcher der zweite Erreger angriff; man glaubt sich darum berechtigt, das Mittel aus diesen beiden Beobachtungen mit dem Erfolg des zweiten Erregers vergleichen zu können.

Der absolute Kraftwerth der Mittel, die wir als Erreger benutzen wollen, lässt sich nun allerdings leicht variiren, aber damit ist noch nicht erreicht, dass auch diese Mittel in derselben Stärke oder in gleichem Verhältniss ihrer Stärke den Nerven treffen; dieses leuchtet sogleich ein, wenn wir diesen letztern in seiner natürlichen Lage der Erregung aussetzen, weil in diesem Falle die um den Nerven liegenden Theile auf eine ganz unbestimmbare Weise dem Durchgang des Erregers einen Widerstand entgegensetzen. Um dieses klar zu machen, wollen wir hier nur einen der verständlichsten Fälle herausgreifen, indem wir uns denken, es seien die Folgen von verschiedenen Wärmegraden auf den Hautnerven zu ermessen. Die hier in jedem Augenblicke zu dem Nerven dringende oder von ihm abgegebene Wärme ist geradezu abhängig von dem Unterschied der Temperaturen in der erregenden Wärmequelle und in der Haut und umgekehrt proportional dem Leitungswiderstand der Oberhaut. Da die Temperatur der Haut und der Leitungswiderstand constante Werthe sind, so wird, wie dem Anfänger jede in Zahlen ausgeführte Rechnung zeigt, das Verhältniss der auf den Nerven wirkenden Wärmemengen schon ein anderes als das der Wärmequellen; dazu kommt nun aber noch, dass die Nerven von Flüssigkeiten (dem Blut u. s. w.) umspült sind, welche eine bestimmte Temperatur besitzen, die sie wegen ihres stetigen Wechsels erhalten. Diese fortlaufend wechselnden Flüssigkeitsmassen sind

demnach als Kühl- oder Wärmeapparate zu betrachten, je nachdem die erregende Wärmequelle höher oder niedriger temperirt ist als das Blut. Nach der Geschwindigkeit des Blutlaufes, der Leitungsgüte der das Blut umgebenden Theile u. s. w. wird dieser Apparat in mannigfaltiger Abweichung mit eingreifen und es ist, selbst wenn man auf das Auffassen feiner Unterschiede verzichtet, vollkommen unmöglich anzugeben, welche Wärmemenge in jedem Falle aus der Wärmequelle auf den Nerven trifft. Solche Schwierigkeiten, wie die hier geschilderten, setzen sich nun überall entgegen, die von besonderer Natur sind je nach den Nervenhüllen und den Erregern.

Man sollte nun denken, diese Fehler würden wegfallen, wenn man den blosgelegten Nerven unmittelbar der Einwirkung des Erregers aussetzte; aber auch hierdurch werden die Verhältnisse höchstens weniger verwickelt, aber noch lange nicht einfach. Legt man z. B. an einen freiliegenden Nerven die Pole einer elektrischen Säule an, so polarisiren sich ihre Enden. Diese Polarisation schwächt sogleich den ursprünglichen Strom und zwar um einen Werth, der keineswegs den ihrer Stromstärke genau proportional geht. Aehnliches ereignet sich, wenn man den Nerven in Lösungen desselben Salzes von verschiedenem Prozentgehalt legt; damit diese zu dem wirksamen Theile der Nerven dringen können, müssen sie die Scheide durchwandern, und diese Scheide setzt ebenfalls dem Salze mannigfach wechselnden Widerstand entgegen u. s. w. Dazu kommen dann noch Nebenwirkungen jedes einzelnen Erregers, Zersetzung der Nervensubstanz, Verschrumpfung der Scheide u. s. w., die gar nicht in Rechnung zu bringen sind. Diese Darstellung lehrt, dass es vollkommen irrig ist, zu glauben, es steige oder falle genau wie die objektiv zu messende Kraft des als Erreger angewendeten Mittels, auch seine Wirkung auf den Nerven; man kann nur behaupten, dass letztere in einem noch unbekannten Verhältniss steige oder falle mit der ersteren.

Als eine nicht zu versäumende Vorsichtsmassregel bei dieser und allen vorhergehenden Versuchsreihen gilt nun auch, dass die Erreger immer dieselbe Zahl und dieselbe Länge der Nervenfäden treffen müssen. Mit einem Wechsel der Zahl geschieht aus bekannten anatomischen Gründen nicht allein eine Veränderung in der Summe der erregten Muskelschläuche und Drüsenröhren, sondern mit der Zahl der Nervenröhren steht auch, wie E. H. Weber gezeigt, die Intensität der Empfindung in der Beziehung, dass sie, alles andere gleichgesetzt, mit einer Vermehrung derselben steigt und mit einer Verminderung sinkt. Somit ändert sich also durchgreifend die zum Vorschein kommende Grösse der Bewegung, Menge der Absonderung und Intensität der Empfindung, selbst bei gleicher Intensität der Nervenerregung, so wie die Summe der erregten Nervenfäden eine andere

wird. — Auf dieselbe Länge der erregten Nervenstrecke muss aber gehalten werden, weil, wie wenigstens an einigen Nerven erwiesen, die Stärke der Erregung mit der eben erwähnten Länge wächst.

So grosse und zahlreiche Schwierigkeiten bietet die einfachste Versuchsreihe, und sie sind sicherlich hier vorerst weitaus zum geringsten Theil aufgezählt; ein gewandter Kopf wird in ihnen eher einen Sporn sie zu überwinden sehen, als vor ihnen zurückgeschreckt stehen bleiben; der halbwegs einsichtige wird aber die Versuche ganz unterlassen, wenn er nicht mit neuen, wirklich hilfreichen Mitteln hier eindringen kann.

Die uns zu Gebote stehenden Erfahrungen über die Abhängigkeit der Erregungsstärken von dem Wechsel in der Kraft sowohl als andern Verhältnissen der Erreger, haben zu folgenden allgemeinen Ergebnissen geführt.

α) Eine gewisse Zahl von Mitteln erzeugt eine Erregung, wenn sie in constanter, oder in einer nach der Zeit sehr wenig schwankenden Stärke einwirkt; dahin zählen die constanten Drücke, welche auf den Seh- und den Hautnerven Licht- und Schmerzempfindung erzeugen; hohe und sehr niedere Temperaturen, welche nicht mehr Wärme- und Kälteempfindung, sondern Schmerz erzeugen, die den Geschmack und Geruch erweckenden chemischen Substanzen, ein constanter galvanischer Strom in den Empfindungsnerven und noch andere später besonders hervorzuhebende Mittel. Die Erregung ist von der Veränderung dieser Erreger insofern abhängig, als sie innerhalb gewisser Grenzen mit der Stärke des Erregers wächst; bei einer gewissen Höhe dieser letzteren erreicht die Erregung aber ein Maximum, welches nicht überschritten wird, mag der Erreger auch noch so beträchtliche Zuwächse an seiner Intensität erfahren.

β) Eine andere Reihe von Mitteln wird dagegen nur dann zu Erregern, wenn sie mit einer stetigen Veränderung in ihren Intensitäten auf den Nerven wirkt. So erzeugt z. B. ein constanter Druck auf das Trommelfell niemals die Empfindung des Tons, der aber sogleich zu Stande kommt so wie das Trommelfell in hin und hergehende Schwankungen von einer bestimmten Geschwindigkeit geräth, wobei also der von demselben auf die innern Gehörwerkzeuge ausgeübte Druck z. B. zuerst ein zusammenpressender und dann ein ausdehnender wird. Ebenso empfängt man die Empfindung der Wärme nicht durch eine constante Temperatur, sondern nur dann und so lange als die Temperatur der Haut von einem niederen zu einem höheren Grade aufsteigt. Ein constanter electrischer Strom bringt den Muskelnerven niemals in einen Zustand, in welchem er eine Muskelzuckung hervorruft; dieses geschieht aber, wenn ihn ein Strom von stets veränderlicher an- oder absteigender Stärke durchfliesst. In diesen und zahlreichen andern Fällen steigt die Erregung 1. mit der Geschwindigkeit des Wechsels,

den die Intensitäten der Erreger während ihrer Einwirkung auf den Nerven erleiden; mit andern Worten sie ist von der in der Zeiteinheit durchlaufenen Differenz der Erregerstärke abhängig. Eine nothwendige Folgerung hieraus ist die, dass eine in der Zeiteinheit durchlaufene grosse Differenz zwischen absolut niederen Werthen der Erreger eine stärkere Erregung erzeugt, als eine geringe Differenz absolut höherer Werthe. So erscheint also z. B. wenn wir die Hand aus Wasser von 8^0 plötzlich in das von 12^0 führen, dieses letztere uns wärmer als das von 14^0, wenn wir unmittelbar vorher die Hand in Wasser von 12^0 getaucht hatten u. s. w. — Wenn aber 2. die Geschwindigkeit des Wechsels gleich ist, so steigt in einzelnen Fällen wenigstens die Stärke der Erregung mit der Intensität der erregenden Wirkung, so dass ein sich abgleichender gleich grosser Unterschied zwischen zwei intensiveren Erregern lebhafter wirkt, als derselbe zwischen weniger beträchtlicheren Kräften. Doch gilt für diesen Fall ganz dasselbe, was für den unter 1) verzeichneten ausgesprochen wurde, dass nemlich nur bis zu einem gewissen Grade mit dem Wachsthum der Erregerintensität die Stärke der Erregung steigt, jenseits desselben aber constant bleibt, mag nun auch der Werth der ersteren noch so sehr steigen. Unbekannt ist es ob auch die von der Abgleichungsgeschwindigkeit herrührende Erregung ein Maximum besitzt, über das hinaus sie mit dem Erreger nicht mehr wächst.

Sehr bemerkenswerth ist es noch für die Erregung durch constante sowohl als durch schwankende Kräfte, dass durch ausserordentlich unbeträchtliche, durch andere Mittel kaum messbare Einwirkungen in den Nerven schon nahebei die Maxima der Erregung erzeugt werden.

4. Von dem Beharrungsvermögen des Nerven oder von der Zeit, welche verstreicht bevor auf Anwendung eines Erregungsmittels auf den Nerven dieser selbst in merklichen Grad von Erregung gelangt, und derjenigen, welche der erregte Nerv bedarf um wieder zur Ruhe zu kommen nach Entfernung des Erregunsmittels. Trifft ein Erreger einen Nerven, so tritt, soweit uns bekannt, der Nerv an dem angegriffenen Orte sogleich in den Zustand der Erregung über. — Die eingetretene Erregung verschwindet nun auch meist momentan mit der Entfernung des Erregers; dieses Verhalten ist jedoch kein allgemeines, indem namentlich einzelne Nerven wie die der Retina auch die Eigenschaft zeigen, längere Zeit in dem Zustand zu verharren, in den sie durch einen intensiv oder anhaltend wirkenden Erreger versetzt sind. — Aber selbst in diesen Nerven ist für die Erregung von mittlerer Stärke das Problem gelöst, dass die inneren Zustände des Nerven der Zeit nach ein fast genauer Abdruck der Erreger sind, indem sie nahebei momentan mit dem Erreger erscheinen und verschwinden.

5. Gegenseitige Mittheilungen innerer Zustände. Leitungen.

A. Im ruhigen (erregbaren) Zustande. In einer und derselben Nervenröhre können an verschiedenen Orten ihres Verlaufs verschiedene Grade der Erregbarkeit bestehen, so dass also an demselben Rohre Stellen von stärkerer und schwächerer Erregbarkeit mit einander abwechseln. Soweit gegenwärtige Erfahrungen den Thatbestand aufgehellt haben, üben diese verschiedene Zustände keinen Einfluss aufeinander aus; doch fehlen ebensowohl noch Beobachtungen als, was viel schlimmer, Beobachtungswege, die diese Lehre aufzuhellen vermöchten.

B. Im erregten Zustande. *)

a) Innerhalb einer und derselben Nervenröhre. Wird ein aliquoter Theil einer Nervenprimitivröhre in Erregung versetzt, so theilt sich dieser Zustand auch den übrigen ursprünglich nicht erregten Theilen des Nerveninhalts mit, so dass alle diesseits und jenseits der erregten Stelle liegenden Röhrenstücke ebenfalls aus ihrer Ruhe heraustreten. Durch einen einfachen Versuch lässt sich zeigen, dass in allen ausserhalb der nervösen Centralorgane gelegenen Nervenröhren diese Mittheilung der Erregung nur durch den Röhreninhalt und nicht durch die Röhrenscheide vermittelt wird, indem nämlich ihre Weiterleitung von einem Nervenstück auf das andere nur dann möglich ist, wenn sich die Inhaltsmassen unmittelbar berühren. Hieraus folgt das von E. H. Weber zuerst ausgesprochene wichtige Gesetz, dass die innerhalb einer Nervenprimitivröhre geschehene Erregung in dieser isolirt bleibt.

Noch vor Kurzem gab man allgemein vor, die Thatsachen verlangten die Annahme, dass alle Nervenröhren ohne Ausnahme nur nach einer Richtung hin ihre Erregung weiter zu leiten vermögen, dass dagegen ein Theil von ihnen, nämlich die empfindungserzeugenden nur zur centripetalen (von den Sinnesorganen zum Hirn) und ein anderer, die bewegungserzeugenden nur zur centrifugalen Leitung befähigt seien. Die Thatsachen, welche jene Annahmen erzeugten, erläutern sich aber sämmtlich auch ohne sie, wenn man bedenkt, dass nur im Hirn an den empfindenden und nur in der muskulösen Peripherie an der bewegenden Nervenröhre ein Apparat sich findet, aus dem die bestehende Erregung erkannt werden kann; die Richtigkeit der Annahme einer einförmigen Leitung war erst dann entscheidbar, als man ein Mittel fand um aller Orten in dem Nerven die vorhandene Erregung darzuthun; dieses Mittel ist aber der Multiplikator, welcher einen, jede Erregung constant begleitenden, Vorgang, die sogenannte negative Stromesschwankung, nachzuweisen vermag; du Bois hat nun in der That gezeigt, dass in jedem Nerven die disseits und jenseits der erregten Stelle liegenden Molekeln in die negative Schwankung gerathen.

Der Versuch, welcher beweist, dass die Leitungsfähigkeit in den ausserhalb des Rückenmarks gelegenen Theilen an die Gegenwart des Nerveninhaltes sich knüpft, ist schon sehr alt. Schon das vorige Jahrhundert wusste, dass wenn man die Schlinge

*) Joh. Müller, Lehrbuch der Physiologie. 4. Aufl. I. — Helmholtz, Messungen über den zeitlichen Verlauf u. s. w. Müllers Archiv 1850. 276. — du Bois Reymond Untersuchungen über thier. Electr. Bd. II. p. 570 u. f. — E. H. Weber Artikel Tastsinn in Wagners Handwörterbuch.

eines Fadens um einen Nervenstrang legt und dieselbe gerade so fest zuzieht, dass an der betreffenden Stelle das Nervenmark ausgequetscht wird, die Scheiden aber noch in Berührung bleiben, so dass also durch den Faden der Nerv nicht durchgeschnürt wird, die eingequetschte Stelle dem Fortgang der Erregung einen unüberwindlichen Widerstand entgegen setzt. Aus der anatomischen Thatsache, dass die Nervenröhre, meist ohne sich zu theilen, von den nervösen Centren bis zu der Peripherie verlaufe, und aus der physiologischen Erfahrung, dass sowohl beschränkte Erregungen unserer Sinneswerkzeuge beschränkte Empfindungen bedingen, als dass auch unserm Willen es frei steht, ganz beschränkte Bewegungen einzuleiten, obwohl die einzelnen Nervenröhren auf ihrem Verlauf zum Hirn in tausendfache Berührung mit anderen kommen, schloss mit gewohnter Feinheit E. H. Weber das oben ausgesprochene Gesetz, welches durch Versuche von J. Müller noch weiter bestätigt ist.

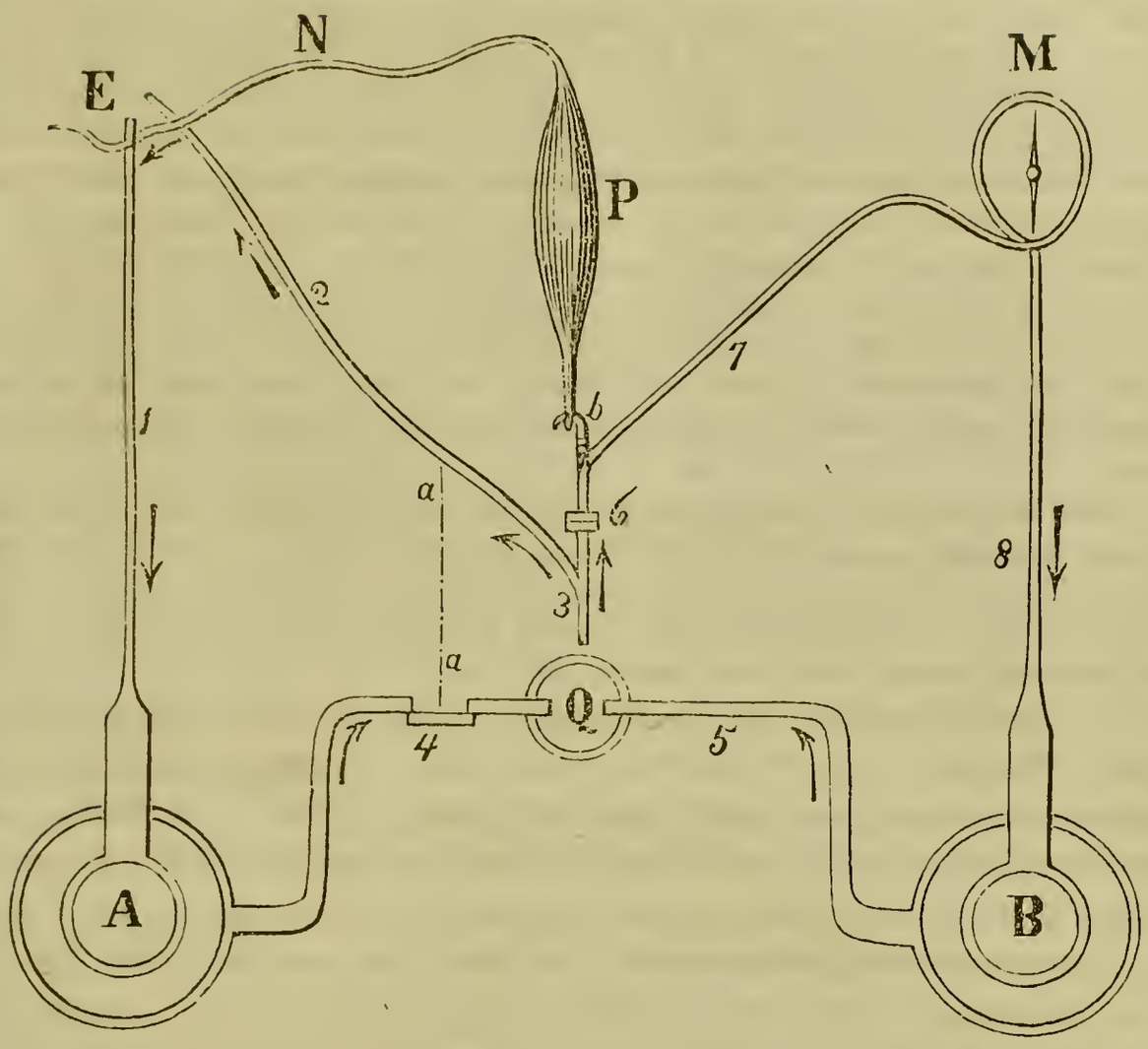
Die Mittheilung des erregten Zustandes geschieht, wie Helmholtz in einer classischen Arbeit gezeigt hat, mit endlicher Geschwindigkeit. Im Mittel verbreitet sich in den Haut- und Muskelnerven der lebenden Menschen die Erregung um 61,5 Meter in der Zeitsekunde weiter. Diese Leitungsgeschwindigkeit ist nun aber keineswegs eine constante, sondern eine mit inneren Zuständen der Nerven wechselnde. Namentlich leitet das Nervenrohr im lebenden Menschen die Erregung dreifach rascher als im Frosch, und ferner ist das auf 0^0 abgekühlte Nervenrohr des Frosches ein viel schlechterer Leiter als der normal ($10 - 12^0$) temperirte.

Die Methode dieser Bestimmung beruht auf dem von Pouillet zuerst benutzten Prinzip der Messung kleiner Zeiträume durch den elektrischen Strom. Die Winkelgrösse um die eine Magnetnadel innerhalb kleiner Zeiten durch einen elektrischen Strom abgelenkt wird, ist abhängig von der Intensität des Stromes und der Zeitdauer seiner Einwirkung, was sogleich verständlich ist, wenn man die Wirkungen des elektrischen Stroms auf die Nadel als Stösse auffasst, welche in ununterbrochener Reihenfolge auf dieselbe geschehen. Die Intensität des Stroms bedeutet dann soviel als die Stärke der Stösse und die Zeitdauer der Einwirkung die Zahl der Stösse; demnach ist die mechanische Leistung ein und desselben Stromes auf die Nadel proportional der Zeit seiner Einwirkung oder, mit Beziehung auf die Nadel gesprochen, es wird, wenn man die Nadel nur um sehr kleine Winkel schwingen lässt, ihr Schwingungsbogen bei Einwirkung von gleich starken aber ungleich andauernden Strömen direkt proportional der Zeit ausfallen. Diesem Prinzip gemäss kann die Leitungsgeschwindigkeit der Nervenerregung, oder der Zeitraum, welcher verfliesst zwischen der Erregung eines Nervenstücks in bekannter Entfernung von einem Muskel und dem Anlangen der Erregung an dem Muskel selbst, bestimmt werden, wenn es gelingt einen um die Magnetnadel geleiteten Strom von bekannter Intensität, genau in dem Momente zum Schluss zu bringen, in welchem die Erregung im Nerven beginnt und genau in dem Moment ihn zu öffnen, in welchem die Erregung in dem Muskel oder dem Empfindungsorgan angelangt ist. Diese Möglichkeit, welche Helmholtz verwirklicht hat, wird uns durch folgendes Schema versinnlicht.

In Fig. 26 stellten *A* und *B* zwei gleich starke galvanische Säulen vor, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 leitende Drähte, a und b zwei isolirende Stäbchen, M eine Magnetnadel mit umgewundenen Leitungsdrähten (Multiplikator), *Q* ein Quecksilbernäpfchen, *E N* ein Nerv, *P* sein zugehöriger Muskel.

Dieses System von Apparaten kann entweder so zusammengestellt werden, dass beide gleichstarke galvanische Säulen ihre Ströme in entgegengesetzter Richtung durch dieselben Leitungsbogen senden, so dass die resultirende Wirkung beider auf

Fig. 26.



die Nadel gleich Null wird. Dieser Fall ereignet sich bei der gezeichneten Aufstellung, wenn nämlich die Spitze bei 3 nicht in das Quecksilbernäpfchen taucht; oder es lassen sich unsere Apparate auch so stellen, dass zwei Ströme entstehen die sich an einem Punkte *Q* 3 berühren, was eintritt, wenn die Spitze 3 in das Quecksilber *Q* getaucht wird. Die eine Strombahn, die wir die erregende nennen wollen, wird dargestellt durch *A*, 1, *E*, 2, 3, *Q*, 4 und die andere, welches die zeitmessende ist, wird gebildet von *B*, 8, *M*, 7, 6, 3, *Q*, 5. Beide Bahnen zeigen noch die wesentliche Einrichtung, dass sie eine Stelle besitzen, in der sie leicht unterbrochen werden können, die erregende bei 4, die zeitmessende bei 6.

Will man den Versuch beginnen, so ordnet man den Apparat zunächst in die erste Stellung, in der die resultirende des Stromes gleich Null ist, an, Nerv und Magnetnadel bleiben während desselben in Ruhe; dann stösst man die Spitze 3 in den Quecksilbernapf *Q*, wodurch man die bisher vereinigten Ströme in zwei spaltet, von denen der eine gerade in dem Moment seine Erregung auf den Nerven beginnt, in welchem der andere (der zeitmessende) geschlossen wird. Da nun aber im erregenden Stromkreis durch Vorschieben der Spitze 3 zugleich der isolirende Stab vorgestossen und damit dies locker eingefügte Stück des Leiters 4 ausgestossen wird, so dauert dieser Strom, was zur Erregung des Nerven hinreicht, nur momentan. — Der zeitmessende Strom, der, wie wir eben sahen, im Beginn der Nervenerregung geschlossen wurde, wird nun aber geöffnet, sowie der erregte Nerv *N* den Muskel *P* in Zuckung versetzt hat, indem dieser dann das Plättchen bei 6 mittelst des isolirenden an ihn festgehefteten Stückes abhebt.

Der zeitmessende Strom wurde also genau so lange geschlossen gehalten, als die Erregung Zeit bedurfte, um von dem Nervenstück *E* zu dem Muskel zu gelangen und diesen selbst wieder in eine so kräftige Bewegung zu setzen, dass er den Strom

öffnen konnte. Der hierzu nöthige Zeitraum ist aber nicht der zu messende, denn es sollte ja nur die Zeit bestimmt werden, welche verstrich bis die Erregung an dem Muskel angelangt war. Um diese zu finden, ist es nothwendig auf diesen ersten Versuch einen zweiten folgen zu lassen, in dem man die Enden des erregenden Kreises möglichst nahe an den Muskel bringt, sonst aber ihn gleich dem vorigen ausführt. Eine kurze Ueberlegung zeigt hier nun, dass die Zeitunterschiede, welche in beiden Versuchen durch die Magnetnadel gegeben werden, einzig und allein davon abhängen können, dass in dem ersten Versuch, der eine stärkere Ablenkung der Nadel herbeiführte, die Erregung eine längere Nervenstrecke zu durchlaufen hatte als im zweiten Versuch, mit andern Worten: die Differenz der in beiden Versuchen erhaltenen Zeiten ist diejenige, welche die Mittheilung der Erregung durch das zwischen beiden Erregungsstellen liegende Nervenstück bedurfte. Kennt man die leicht zu bestimmende Länge dieser Entfernung, so ist damit die Leitungsgeschwindigkeit gegeben.

Ueber die Einzelheiten dieses Verfahrens ist die Abhandlung von Helmholtz selbst nachzusehen, namentlich um Belehrung darüber zu finden, durch welche sinnreiche Mittel dieser ausgezeichnete Gelehrte die so zahlreichen Fehlerquellen zu vermeiden wusste. — Ausser dieser hat er noch eine zweite Messungsmethode angegeben und angewendet. Müllers Archiv 1852. 199.

b) Mittheilung der Erregung von einem Nervenfaden zu einem andern. Querleitung.*) Die Regel der isolirten Leitung ist, wenn auch weitaus die häufigste, doch keine allgemein gültige; es finden sich einzelne Oertlichkeiten und einzelne Erregungszustände, bei denen die in einer Nervenröhre ursprünglich eingeleitete Erregung auch auf einen nebenliegende übergeführt wird, so dass der erregte Nerv Erreger seines Nachbarn wird. Diese Fälle ereignen sich 1) wenn ein starker elektrischer Strom als Nervenerreger benutzt worden ist. Diese Erscheinung, welche du Bois entdeckt und auch sogleich in ihrem inneren Zusammenhang entwickelt hat, ist bei der Lehre vom electrotonischen Zustand abgehandelt worden (siehe pag. 83). 2) An gewissen Lokalitäten der Nervenmasse, z. B. im Rückenmark, Hirn, Herznerven u. s. w., können die auf jede beliebige Art erregten Nerven Erreger der Nachbarn werden. Bei den entsprechenden Apparaten wird auf die Erscheinungslehre dieses theoretisch noch dunklen Gegenstandes eingegangen werden.

Todter Zustand des Nerven. Ein so geringes physiologisches Interesse die Untersuchung aller besonderen Erscheinungsformen des todten Nerven bieten kann, so wichtig ist, die bisher noch wenig ins Einzelne verfolgten Umstände und Bedingungen kennen zu lernen, unter denen ein Nerv aus dem lebenden in den todten Zustand geräth.

Der Eintritt des todten Zustandes ist von dem Zeitpunkt an gegeben, in welchem der Nerv seine Befähigung für immer verloren hat in den erregten Zustand gerathen zu können; hiernach unterscheidet sich der todte vom erschöpften oder ermüdeten Nerv, durch seine

*) Volkmann Artikel Nervenphysiologie. — Joh. Müllers Lehrbuch. — du Bois Reymond thier. Electricität II. 529 u. f. u. 595 u. f.

Unfähigkeit unter günstigen Umständen seine Erregbarkeit wieder zu erlangen. Die allgemeinsten Bedingungen, unter denen der Nerventod sich ereignet, sind Zerstörungen seiner Form, chemische Umwandlungen seiner wirksamen Substanz, wie z. B. Verseifung seiner Fette, vollkommene Entziehung seines Wassers, Gerinnung des Eiweisses u. s. w. und die damit in Verbindung stehende Einbusse seiner elektrischen Eigenschaften.

Dieser letzte Punkt ist uns durch du Bois zugänglich gemacht; er zeigte, dass einen Nerven, der seine physiologischen Leistungen eingebüsst hat, entweder nur noch ganz schwache elektrische Ströme in der ursprünglichen Richtung durchkreisen, oder dass seine ursprüngliche Stromesrichtung sich umgekehrt hat, indem seine negative Flächen positiv und die positiven negativ geworden sind. Versucht man zu dieser Zeit die Bewegungserscheinungen der elektrischen Nervenmolekeln zu erzeugen, so gelingt es wohl noch in geringem Grade den sogenannten elektrotonischen Zustand, niemals aber die elektronegative Schwankung herbeizuführen. Alle diese mit geringer Intensität auftretenden Erscheinungen überdauern aber die physiologische Leistungsfähigkeit nur so kurze Zeit, dass man auch hier behaupten kann, diese und die elektrischen Gegensätze gehen gleichzeitig zu Grunde. —

Das Absterben der Nerven kann sich selbstverständlich im lebenden Organismus ereignen, wie es im todten eintreten muss, weil zu demselben nur die Bedingung gehört, dass die in der Zeit sich häufenden Summen der schädlichen Einflüsse die der erhaltenden überwiegen. Da aber im lebenden Organismus diejenigen Umstände, welche eine eingetretene Störung auszugleichen vermögen, zahlreich vorhanden sind, so erträgt während des Lebens der Nerv sehr auffallende Verletzung ohne anders als vorübergehend zu erlahmen; das auffallendste Beispiel für diesen Satz bieten durchschnittene Nerven, welche wie wir in der Ernährungslehre erfahren werden, wieder zusammenheilen und damit ihre scheinbar schon vollständig verlorenen Lebenseigenschaften wieder erhalten. — Aber auch im todten Organismus erscheint die Fähigkeit schädlichen Einflüssen zu widerstehen, sehr verschieden. Hier sind folgende allgemeine Regeln bemerkenswerth: 1) die erregbareren Nerven sterben unter sonst gleichen Bedingungen früher ab als die weniger erregbaren. In Uebereinstimmung hiermit erlischt die Erregbarkeit beim Warmblüter schneller als beim Kaltblüter; und ferner gehen die Nervenröhren des Hirns, des Rückenmarks und des Gesichtssinnes früher zu Grunde als die Röhren der Nervenstämme und namentlich derjenigen, welche in die Muskeln sich verzweigen. Hierher dürfte auch die von Stannius *) beobachtete That-

*) Stannius, Müllers Archiv 1847.

sache zu ziehen sein, dass die Nerven eines während des Lebens gelähmten Gliedes nach dem Tode langsamer absterben, als die des ungelähmten. 2) die Nerven, welche sich in bluthaltenden Körpertheilen verzweigen, erhalten ihre Erregbarkeit länger als diejenigen der blutarmen oder blutleeren; der Blutreichthum todter thierischer Theile zeigt sich nach Kilian *) besonders auffallend, sowie man ihre Nerven schädlichen das Absterben begünstigenden Einflüssen aussetzt. Wenn man z. B. aus dem einen Bein desselben todten Frosches das Blut aus den durchschnittenen Gefässen ausstreicht, während es in dem andern erhalten wurde, und dann eine bestimmte Stelle ihrer zugehörigen Nerven so lange erregt bis keine Muskelzuckungen mehr eintreten, so erholen sich die Nervenstücke des bluthaltenden Schenkels in kurzer Zeit wieder bis zu einem solchen Grade, dass durch seine Erregung die Einleitung von Zuckungen gelingt, während der Nerv des blutarmen in todtem Zustand verharrt. 3) Die Muskelnerven sterben in der Richtung von ihrem Ursprunge aus Hirn und Rückenmark nach den Muskeln hin ab, so dass von einem dem Rückenmark näher gelegenen Theil derselben schon keine Zuckung mehr eingeleitet werden kann, wenn ein von ihm entfernterer sie noch zu erwecken vermag. Zu diesem von Ritter und Valli aufgefundenen Gesetz fügt du Bois die Thatsache, dass diese Reihenfolge des Absterbens weniger ausgeprägt auftritt, wenn der Muskelnerv mit den nervösen Centraltheilen in Verbindung bleibt. Dieses sog. Ritter-Valli'sche Gesetz verdient umsomehr Zutrauen als nach du Bois auch der Nerv in der bezeichneten Reihenfolge seine Fähigkeit verliert, in die elektronegative Stromesschwankung zu gerathen. Longet **) und Matteucci behaupten auch die umgekehrte Erscheinung von den Nerven der Gefühlswerkzeuge; es sollen dieselben nämlich von der Verbreitung in der Haut nach den Ursprüngen im Hirn und Rückenmark absterben, so dass die dem Ursprung näher stehenden Stücke länger erregbar bleiben, als die entfernter liegenden.

Anfänge und Bruchstücke zur Theorie der Nervenkräfte. — Der Nerv stellt wie aus dem Vorhergehenden einleuchtet, einen sehr zusammengesetzten Apparat dar, dem keine der zahlreichen Bedingungen, die in ihn eingehen, fehlen darf, wenn er die sog. Lebenseigenschaften darbieten soll. Eine Theorie der Nervenkräfte würde demnach zu entwickeln haben, wie aus allen den verschiedenen in die Nerven eingehenden Bedingungen gerade die ihnen zukommenden Erscheinungen mit Nothwendigkeit herfliessen. So weit nun die Wissenschaft auch noch entfernt ist von der Theorie in diesem strengen Sinne, so wenig darf sie unterlassen ihre jeweiligen Kenntnisse

*) Versuche über die Restitution der Nervenerregbarkeit nach dem Tode. Giessen 1817.
**) Archiv. general. d. Med. 1817.

zum Versuch und zu Anfängen einer solchen zusammenzufassen. In dieser Beschränkung mag Folgendes gelten.

1) Der Nerv entwickelt zu allen Zeiten seines lebendigen Bestehens freie nach aussen hin übertragbare Kräfte. Während des Lebens finden sich die den Nerven constituirenden Theile zu keiner Zeit im Gleichgewicht. Wäre dieses der Fall, so müssten die in ihn eingegangenen kraftentwickelnden Substanzen sich gegenseitig so gebunden halten, dass sie jenseits und innerhalb des Nerven keine fortlaufenden Veränderungen oder stets sich neu erzeugenden Bewegungen erwirken könnten. Im Widerspruch mit dieser Voraussetzung durchkreisen aber den Nerven stetig elektrische Ströme, die jenseits seiner Grenzen die Magnetnadel ablenken, und der Nerv selbst erfährt, wenn er anhaltend in dem Zustand sog. Ruhe oder sog. Thätigkeit war, eine Umwandlung seiner chemischen und mechanischen Anordnung. Vorerst ist festzuhalten, dass nur nach einem mangelhaften Sprachgebrauch dem Nerven ein ruhiger im Gegensatz zu einem thätigen Zustand zugeschrieben wird. So weit ersichtlich unterscheidet sich die Erregbarkeit (Ruhezustand) von der Erregung vielmehr nur dadurch, dass während derselben alle oder ein Theil der wirksamen Massen eine Bewegung oder Spannung gegeneinander annehmen, die sie unter den Bedingungen des gewöhnlichen Lebens mit einer gewissen Beharrlichkeit behaupten, indem sie aus derselben nur durch andere im gewöhnlichen Leben nicht vorhandene Einflüsse zu entfernen sind und in welche sie mit grösserer oder geringerer Geschwindigkeit zurückkehren, wenn sie aus derselben durch momentan wirkende Einflüsse entfernt wurden.

2) Die Quellen dieser Kräfte sind chemische Umsetzungen. Die Ursachen der Kraftentwicklung in den Nerven ist wahrscheinlich in dem chemischen Umsatz der in ihnen enthaltenen Stoffe zu suchen; hierfür spricht nicht allein die Thatsache, dass die Nerven nur dann erregbar sind, wenn sie eine bestimmte chemische Zusammensetzung besitzen, sondern noch mehr, dass die Nerven durch ihr lebensvolles Bestehen, im erregten, wie im unerregten Zustand diese ihre normale Zusammensetzung einbüssen.

Obwohl uns bis jetzt keine Analysen vorliegen, welche diese Behauptung geradezu erweisen könnten, so erscheint sie dennoch haltbar, wenn man bedenkt, dass 1) jedes chemische oder physikalische Mittel die Erregbarkeit des Nerven vernichtet, welches die Zusammensetzung desselben beträchtlich ändert. In dieser Beziehung führen ganz verschiedene Einwirkungen, die in diesem einen Puncte zusammentreffen, zu ganz gleichem Ziel; denn es wirkt eben so vernichtend die Wärme, welche das Wasser des Nerven verdunstet, als das Liegen im Wasser, welches ihm Salze und Eiweiss (?) entzieht, dasselbe bewirken die Stoffe, welche seine eiweisshaltige Substanzen zum Gerinnen bringen, seine Fette angreifen u. s. w. 2) Die mikroskopische Untersuchung eines Nerven, welcher während des Lebens für längere Zeit dem Einfluss erregender Wirkungen entzogen war, lehrt, dass während dieses Zustandes sogenannten Ruhe eine chemische Zersetzung der Nervensubstanz

vor sich gegangen. Auf eine Zersetzung des Nerven im erregten Zustand deutet aber der Umstand, dass ein Nerv durch die Erregung seine Erregbarkeit um so rascher einbüsst, je weniger er mit Blut getränkt ist, oder wie wir uns im Sinne unserer Hypothese ausdrücken könnten, je weniger Ersatzmittel für die durch die Erregung herbeigeführten Verluste ihm geboten werden. — Aber selbst ohne diese Thatsachen würde ein jeder, dem es auch nur wahrscheinlich ist, dass dem thierischen Körper die Fähigkeit abgehe, Kräfte aus einem Nichts zu erzeugen, zu unserem Schluss kommen, weil nach den vorliegenden Thatsachen eine andere Möglichkeit der Kraftentwicklung in den Nerven gar nicht gedacht werden kann.

3. Die Kräfte, welche durch den chemischen Prozess in den Nerven frei werden, sind wahrscheinlich electrische. Nach den unendlich zahlreichen Erfahrungen der Chemie ergibt sich als ausnahmslose Regel, dass durch den Act der chemischen Umsezzung nur auf dreierlei Art Kräfte entwickelt werden, welche jenseits der entstandenen Verbindung bewegende Effecte zu erzielen vermögen. Diese drei Arten der Kraftentwicklung sind bedingt 1) durch Volumveränderungen der in die Verbindung ein- oder austretenden Stoffe, 2) durch Entwicklung von Licht (oder strahlender Wärme) und 3) durch Bindung oder Befreiung von Electricitäten. Da nun bei der geschilderten Umsetzung des Nerven keine Volumveränderung eintritt, und auch der Nerv, wie Helmholtz *) dargethan, weder im Zustand der Erregbarkeit noch dem der Erregung nachweisbare Spuren von Wärme entwickelt, so gestattet die Analogie nur den Schluss, dass die Nervenkräfte keine anderen als electrische seien.

In der That muss nun auch nach du Bois' Untersuchungen der Nerv angesehen werden als eine Zusammenhäufung von electrischen Molekeln, deren Veränderungen und Zustände den sogenannten physiologischen durchaus parallel gehen. Der einfachen Erregbarkeit entsprach die peripolare Anordnung der Molekeln, und es war dieselbe um so vollkommener je ausgesprochener der electrische Gegensatz in dieser Anordnung vorhanden war. Während der physiologischen Vorgänge im Nerven, welche Empfindung und Zuckung bedingten, trat aber nach Umständen entweder die dipolare Anordnung oder die negative Schwankung der Molekeln auf. Auch hier galt wie zwischen peripolarer Lagerung und der Erregbarkeit der Satz, dass genau wie die Intensität der physiologischen Wirkung die der elektronegativen Schwankung wuchs. Obgleich wir bei den Muskelnerven noch einmal auf dieses letzte Verhältniss zurückkommen werden, so ist es doch hier schon schicklich folgendes anzumerken. Benutzen wir als Erregungsmittel der Muskelnerven den electrischen Strom, so ergibt sich, dass dieser den Nerv nur dann in den zuckungserregenden Zustand versetzt, wenn er von schwankender Dichtigkeit ist, nur unter dieser Voraussetzung tritt auch die electronegative Schwankung ein; die

*) Müllers Archiv 1848. Ueber die Wärmeentwickelung bei der Muskelaction.

Zuckung wächst bis zu einer gewissen Grenze mit der Dichtigkeit des Stroms genau so auch die Stärke der electronegativen Schwankung; je länger das Stück, welches der erregende Strom durchfliesst, um so stärker die Zuckung und electronegative Schwankung; schneidet der erregende Strom die Längsachse der Nerven senkrecht, so verschwindet Zuckung und electronegative Schwankung; die erregte Nervenstelle erzeugt nur so lange Zuckung als eine ununterbrochene Verbindung des Nervenmarks von ihr bis zum Muskel besteht, unterbindet oder durchschneidet man den Nerven zwischen der erregten Stelle und seiner Einsenkung in den Muskel, so hört die Zuckung auf zu erscheinen, und ebenso jenseits der unterbundenen oder durchschnittenen Stelle die electronegative Schwankung.

Wenn diese vielfache Uebereinstimmung, der nirgends ein Widerspruch entgegentritt, unzweifelhaft beweist, dass die lebendigen Aktionen des Nerven an die Gegenwart, an Bewegungen und Stellungen von Molekeln, die mit electrischen Gegensätzen behaftet sind, sich binden, so liegt nun auch die Annahme nahe, dass die Stellung u. s. w. dieser Molekeln abhängig sei von ihren electrischen Anziehungen, von Anziehungen, die, wie besonders zu betonen, nur auf eine sehr beschränkte Entfernung hin ihre Wirksamkeit entfalten.

Im vollkommenen Einklang mit dieser Annahme ist von den an dem Nerven selbst zu ermittelnden Thatsachen die Beobachtung von Helmholtz über die verhältnissmässig geringe Mittheilungsgeschwindigkeit des erregten Nervenzustandes, die sich vollkommen begreift, wenn man diese Mittheilung als eine successiv auf einander folgende Anordnung der Molekeln auffasst.

Die Einwürfe, welche man gegen diese Anschauung, die du Bois zwar niemals geradezu für die seinige erklärt, die aber in Allem, was Richtiges daran, die seinige ist und die er zur Theorie auszubilden berufen, vorbringt, sind aus Missverständnissen erzeugt. Zunächst glaubte man, es sei unverträglich mit dem Vorgetragenen, dass der durchschnittene und wieder aneinander gelegte oder mit einem feuchten Faden fest unterbundene Nerv wohl einen elektrischen Strom, nicht aber den Zustand der Nervenerregung weiter leite. Dieser Einwurf würde einen Sinn haben, wenn die vorgetragene Lehre die Nervenleitung von einem den Nerven durchlaufenden elektrischen Strom abhängig machte. Durch die du Bois'schen Untersuchungen ist aber gerade erwiesen, dass die im Nerven entwickelten elektrischen Vorgänge einen Strom erzeugen, der vorzugsweise die Molekeln umkreist und ferner, dass aus den um alle die einzelnen Molekeln gehenden Strömen kein Gesammtstrom resultirt, der als die Summe dieser Partialströme angesehen werden kann. — Hiermit fällt auch ein zweiter oft gehörter Einwand zusammen, der nämlich, dass ein im Nervenmark entwickelter elektrischer Strom in ihm nicht isolirt bleiben könne, weil die Scheide desselben ein ebenso guter Leiter sei, als das Nervenmark selbst. In der That erreichen ja, wie aus den du Bois'schen Beobachtungen hervorgeht, die Partialströme kaum die Scheide mit merklicher Stärke, während sie vielleicht in der unmittelbaren Umgebung der Molekeln mit ausserordentlicher Stärke verlaufen. Man vergisst hier, wie auch vorhin, dass die Theorie immer Molekeln verlangt, welche selbst schon polarisirt durch die Wirkung der unmittelbar neben-

liegenden gerichtet werden. Demgemäss würde durch die Scheide hin die elektrische Wirkung sich nur dann verbreiten, wenn sie selbst aus anordnungsfähigen Molekeln bestünde. — Ebenso werthlos ist der Einwand, dass der Nerv, weil er ein schlechter E. Leiter sei, nicht durch elektrische Kräfte wirksam sein könne. In der That ist durch E. Weber's*) genaue Untersuchungen ermittelt worden, dass der todte Nerv nur dann leitet, wenn er mit Wasser durchtränkt ist, und endlich wird ein so dünner Wasserfaden einen sehr grossen Leitungswiderstand bieten; aber dieser Widerstand würde nur von Bedeutung für die physiologische Function sein, wenn diese statt von einer Anordnung elektrischer Molekeln von elektrischen Strömen abhängig wäre. —

Die Hypothesen, welche man der vorgetragenen entgegensetzt, sind insofern sie beachtenswerth nur unvollkommene Formen der eben entwickelten. Zu diesen gehört die von J. Müller**) und Henle***) herrührende, welche sich aus vor du Bois'scher Zeit herschreibt. Auch diese Gelehrten führen die Thatsachen zu der richtigen Ansicht, dass der Nerv seiner Mischung und Form seine Kräfte, und einer Umänderung jener eine Umwandlung der Kräfte verdanke. Hiebei liessen Beide aber ganz unerörtert, welche Art von Kräften durch diesen chemischen Akt entwickelt werden; diese Theorie enthält also die richtigen Anfänge. Ganz anders verhält es sich mit derjenigen, welche vom Nervenagens, Nervenäther u. s. w. in der verschwommenen Art medizinischen Raisonnements spricht; die Vorstellung, dass in dem Nerven ein Fluidum, welches dem Lichtäther vergleichbar wäre, sich bewege, widersprechen die Entdeckungen von Helmholtz über die Geschwindigkeit der Erregungsmittheilung vollkommen. Denn ein Aether wäre eben kein Aether, wenn sich so langsam sein Zustand mittheilte.

Nach diesen Darstellungen dürften sich die besondern Fragen über Nervenkräfte nun so gestalten: 1) Wie erläutern sich aus der chemischen Zusammensetzung resp. den chemischen Prozessen der Nerven die electrischen Eigenschaften derselben oder mit welcher chemischen Umänderung steigt und fällt die Erregbarkeit und die Erregung. 2) Auf welchem Wege bewirken die sogenannten Erregungsmittel eine electrische resp. chemische Veränderung der Nerven und endlich 3) wie werden durch die electrischen Wirkungen der Nerven die Acte der Empfindung, Bewegung und Absonderung ermöglicht.

Auf die erste dieser Fragen haben wir beim gegenwärtigen Stand der chemischen Kenntnisse weder eine Antwort noch auch nur Hoffnung demnächst zu einer schärfern Fragestellung zu gelangen. Die zweite nach dem Warum und Wie der Veränderung, welche die Nerven durch die Erregungsmittel erfahren, hängt zu innig mit der ersten zusammen, um von ihr eine Erledigung erfahren zu können. Hier ist aber der Ort darauf aufmerksam zu machen, wie es mit der vorgetragenen Theorie im Einklang steht, dass electrische Ströme so allgemeine und so intensive Erregungsmittel der Nerven sind, und daran zu erinnern, wie wir eigentlich durch die Lehre vom electrotonischen Zustand, der als ein Object der Empfindung eine besondere Form der Erregung darstellt, für einen Fall in unserer Erkenntniss so weit gediehen sind, als dieses ohne chemische Kenntnisse möglich, indem wir

*) Ed. Weber. Quæstiones physiologicæ de phænomenis galvano-magneticis etc. 1836.
**) Physiologie. IV. Aufl. 544.
***) Rationelle Pathologie I. Bd. 110.

aus der bekannten Wirkung des erregenden constanten electrischen Stromes und der Gegenwart der electrischen Nervenmolekeln die Veränderung des Nerven in einer den Thatsachen genau entsprechenden Weise ableiten konnten. — Aus den allgemeinen Umrissen, die wir vom lebenden Nerven zu geben vermögen, gelingt es uns aber auch noch ersichtlich zu machen, warum die Stärke, Art und Zeitdauer der Erregung nicht in geradem Verhältniss von den erregenden Einflüssen abhängig ist. Denn es übertragen die Erregungsmittel ihre Bewegungen, ihre Anziehungen u. s. w. nicht auf eine ruhende Masse von einfacher Anordnung, sondern es treten ihre Wirkungen nur als neue zu einer grösseren Zahl schon vorhandener mannigfach geordneter theils freier theils gebundener Kräfte hinzu. In einem solchen Falle können, je nachdem ein neuer Einfluss gebundene Kräfte frei macht, oder je nachdem er vorhandene Bewegung hemmt, die mannigfachsten Folgen eintreten. Gesetzt z. B. es bestände das erregte Mittel aus gleichartigen Theilen, von denen ein jeder bei einer in ihnen eingeleiteten Veränderung selbst so viel Kräfte entwickelte, um seinen Nachbar in den gleichen oder ähnlichen Zustand der Veränderung zu bringen, so würde ersichtlich ein Minimum äusserer Einwirkung, wie der Funken auf eine Pulvertonne genügen, um ausserordentliche Folgen zu erzeugen, die zwar augenblicklich mit dem Eintritt des äussern Einflusses begonnen, aber einmal eingeleitet von diesem ganz unabhängig wären. Gerade unter diese Kategorie von Kraftanordnung scheint der Nerv zu gehören.

Diese Disproportionalität zwischen Erregung und Erregungsmittel gab den älteren Physiologen Veranlassung zu der Meinung, dass der Nerv rücksichtlich der nach einer empfangenen Kraftmittheilung entwickelten Bewegung ganz ausserhalb dem Bereich physikalischer Gesetze stehe. In der That war die Erscheinung unerklärlich, so lange man den erregbaren Zustand des Nerven als einfache Folge eines mehr oder weniger angehäuften Nervenfluidums ansah. Zu der Zeit, als den Physiologen die Erscheinung noch räthselhaft war, bot die Technik schon eine Menge von analogen Fällen. Man hatte hier längst erkannt, dass die Disproportionalität nur daher rühre, dass durch eine Einwirkung nicht einfache Kräfte übertragen, sondern bisher gebundene freigemacht wurden. Die Technik bezeichnete darum diesen Fall mit dem Namen der Auslösung der Kräfte. Nachdem nun auch hier in der Nervenlehre der wahre Sachverhalt entwickelt ist, erscheint es unpassend auf die unklaren Vorstellungen älterer Physiologen, die sie unter dem Worte Reaction zusammenfassen weiter einzugehen.

Die dritte unserer allgemeinsten Aufgaben, wie die Veränderung des Nerven selbst Veranlassung zu derjenigen physiologisch beigeordneter Organe werde, ist möglicher Weise auch ohne die Erledigung der vorhergehenden zu einem gewissen Ziele zu führen, wenn die beigeordneten Organe nur selbst bekannt sind. Namentlich gewähren hier die Muskeln (und die electrischen Organe der Fische) Hoffnung, indem es gelingen könnte das ganze Problem nur als ein electrisches aufzufassen, ohne Berücksichtigung der besondern Stoffe, von denen die electrischen Wirkungen ausgehen.

B. *Ganglienkörper.*

Da die Ganglienkörper noch nicht in der Menge isolirt worden sind, um sie auf ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften zu prüfen, so mag es auch hier unterbleiben eine anatomische Charakteristik derselben zu geben, welche man ausführlich in dem neuesten Lehrbuch der Elementaranatomie von Kölliker findet.

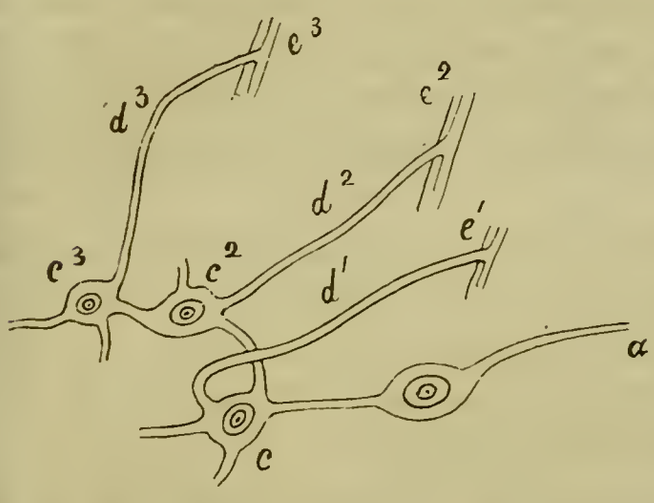
Die Physiologen schrieben dem Ganglienkörper sehr mannigfache Verrichtungen innerhalb des Nervensystems zu; namentlich ist ausgesprochen worden, dass sie 1. auf die Nervenröhren als Erreger zu wirken im Stande seien; 2. dass sie die Mittheilung der Erregung von einer Nervenröhre auf eine andere vermittelten; 3. dass sie die in einem Nerven vorhandene Erregung, ihrem Modus und ihrer Quantität nach zu verändern befähigt wären, entweder indem sie die im Nerven vorhandene tetanische Erregung in eine rhythmische umwandelten, oder eine momentane aber intensive in eine dauernde und schwache umlegten, oder dass sie der in einem Nerven vorhandenen Erregung in der Art entgegen zu wirken vermöchten, dass dieser seine ihm auf analoge anatomische Elementartheile zustehende Wirkung nicht ausüben könnte.

Die Beweisse für die Behauptung so mannigfacher Leistungen der Ganglienkörper schöpft man aus den am Hirn und Rückenmark, in den Herznerven und im N. sympathicus beobachteten Thatsachen. An diesen Orten finden sich wie bekannt die Nervenröhren mit Ganglienkörpern in Verbindung und zugleich geschieht es, dass 1. die von diesen Orten ausgehenden Nervenröhren in Erregung gerathen, ohne dass irgend einer der uns bekannten Erreger auf sie gewirkt habe; 2. die Nervenröhren, welche innerhalb dieser Orte liegen, übertragen, ohne dass ein nachweislicher Zusammenhang ihrer lumina besteht (ohne dass sie sich also durch ihr Mark berühren), ihre Erregungszustände aufeinander und endlich 3. bedingen tetanische Erregungen die auf Nervenröhren treffen, welche durch diese Orte hindurchlaufen, keine anhaltende Muskelzusammenziehung, sondern zwischen Zusammenziehung und Verlängerung schwankende Bewegungen u. s. w., oder gar statt einer Verkürzung eine Verlängerung des Muskels in welchen der Nerv tritt. Das Unzureichende dieses Beweises leuchtet aber sogleich ein, wenn man sich vor die Augen führt, dass keineswegs die einzige anatomische [ganz abgesehen von den uns unbekannten chemischen und physikalischen] Verschiedenheit, zwischen den Orten, welche jene physiologischen Eigenthümlichkeiten darbieten und denjenigen, welchen sie fehlen, in der Gegenwart der Ganglienkörper liegt. Noch weniger aber wird man geneigt jenen Behauptungen Glauben beizumessen, wenn man aus einer genauen Zergliede-

rung der Thatsache erfährt, dass die Nervenröhren mit Ganglienkörpern in Verbindung sein können, ohne dass die drei der vorbemerkten physiologischen Eigenthümlichkeiten zugleich an ihr haften, ja dass es sogar Orte zu geben scheint, an denen sie mit keiner derselben begabt sind. In der speciellen Nervenphysiologie werden wir noch hierauf zurückkommen, und wir wollen hier nur vormerken, dass in den Ganglien der hintern Wurzeln der Rückenmarksnerven, weder je Uebertragungen noch gar die selbsständige Entstehung einer Erregung beobachtet ist; dass von den untern Stücken des Rückenmarks, obwohl es so viele Ganglienkörper enthält, ebenfalls keine selbstständigen Bewegungsursachen ausgehen u. s. w.

Diese Thatsachen würden nun den Zusatz zu den obigen Darstellungen, vorausgesetzt man wollte sie noch halten, erzwingen, dass verschiedene Ganglienkugeln einen verschiedenen Einfluss auf die Nervenröhren ausübten. In diesem Sinne könnte man, wie es von einzelnen Autoren auch geschehen, behaupten 1. der Ganglienkörper entwickelt bei einer gewissen Verbindungsart mit den Nervenröhren die erregenden Einflüsse. Die sog. einstrahligen Ganglien, diejenigen von welchen man die Nervenursprünge annimmt, deren Existenz aber überhaupt noch zweifelhaft ist, sollen dieses vollführen. 2. Die Erregungsmittheilung soll dagegen durch die vielstrahligen geschehen; man hat sich dieses nach Rud. Wagner so zu versinnlichen, dass eine Erregung, in welche der Nerv *a* geräth (siehe Fig. 27) sich nach der Ganglienzelle *c* fortpflanze und von da durch die Aeste zu c^2 und c^3 begebe, welche hinwiederum durch die Nerven d^1, d^2, d^3, auf die Muskeln e^1, e^2, e^3, wirken. Die Ganglienzellen wären demnach Knotenpunkte verschiedener Röhren. Diese Annahme, eine geringe Modifikation der Marshall-Hall'schen reflectomotorischen Hypothese hat, wie wir bei der Betrachtung der sogenannten Reflexbewegung sehen werden, viel gegen und wenig für sich. 3. Die Veränderungen, welche in der Art der Erregung eintreten, sollen von den zweistrahligen (oder in den Verlauf der Nervenröhren eingelegten) Ganglienzellen abhängen? u. s. w.

Fig. 27.



Sei dem nun aber wie ihm wolle, jedenfalls ist eins der Grundprinzipien, aus welchem die letztere Betrachtungsweise hervorging, festzuhalten, dass nämlich die sog. physiologischen Wirkungen der Ganglienkörper verschiedenartig sind. Diese Unterschiede der Wirkung

können aber begreiflich entweder daher rühren, dass die Ganglienkörper bei Gleichartigkeit der Nervenröhren verschiedene Kräfte entwickeln oder dass die Ganglienkörper überall identisch aber auf verschiedene Weise mit gleichartigen oder ungleichartigen Nervenröhren in Berührung gebracht sind. In beiden Fällen würde die Resultirende aus den Gegenwirkungen der Nervenröhre und des Ganglienkörpers, oder wie man dieselbe auch nennt, die physiologische Leistung des Ganglienkörpers verschiedentlich ausfallen.

II. Besondere Nervenphysiologie.

A. *Rückenmark und Rückenmarksnerven.**)

Anatomisches Verhalten**). — Das Rückenmark enthält nach einigen Autoren feinkörnige Masse, kleine kernähnliche Zellen, Ganglienzellen und Nervenröhren; nach andern kommen ihm nur die beiden letzteren Formen zu.

Die Nervenröhren wechseln innerhalb des Rückenmarks in ihrem Durchmesser; im Allgemeinen sind diejenigen der Nervenwurzeln breiter als die der weissen Substanz und die in dieser enthaltenen breiter als die der grauen. Da nun eine und dieselbe Nervenröhre sich an den drei bezeichneten Orten findet, so scheint daraus hervorzugehen, dass sie auf ihrem Verlauf verschiedene Durchmesser annimmt. — Das Primitivband ist in den Nervenröhren des R. M. sehr deutlich, nach einigen Angaben soll es sogar an bestimmten Stellen eine Scheide entbehrend den einzigen Bestandtheil des Nervenelementes ausmachen.

Die pulverigen Körner, kernartige Zellen und Ganglienkörper finden sich nur in der grauen Substanz, und zwar so, dass erstere überall in ihr, die zweiten in der substant. gelatinosa und der Nähe des sog. Centralkanals, die dritten in den Vorderhörnern, der Basis der Hinterhörner und der grauen Commissur vorkommen.

Die Ganglienkörper des Rückenmarkes tragen die diesem Elementartheile allgemein zukommenden Kennzeichen: Zellen, Mark und Scheide. Daneben unterscheiden sie sich aber mannigfach durch ihre Grösse, die Zahl der Zellen, die Form der Scheide und die Färbung des Markes. — Die grössten Ganglienkörper nehmen die Vorder- und die

---

*) In der folgenden Darstellung habe ich es häufig vermieden einen Gewährsmann für die vorgebrachten Thatsachen anzuführen, nicht darum weil etwa nicht ein oder der andere Physiologe bekannt wäre, welcher diese oder jene Thatsache beobachtet hätte, wohl aber desshalb, weil der Entdecker, der einzige, dem die Ehre der Berufung gebührt, nicht feststeht; es schien mir desshalb vorzüglicher, lieber ganz zu schweigen als geradezu Unrecht zu thun.

**) Kölliker, Mikroskopische Anatomie II. Bd. 1. Abthlg.

Basis der Hinterhörner ein; sie zeichnen sich noch besonders aus durch die meist starke Pigmentirung ihres Markes und die zahlreichen vielfach verästelten Fortsätze ihrer Scheide. Die kleinsten Ganglienkörper liegen in der substantia gelatinosa und der Umgebung des Centralkanals oder in der ihn ausfüllenden Masse; sie sind pigmentlos, enthalten oft mehr Zellen, die Ausläufer ihrer Membrane sind bald mehr bald weniger zahlreich. — Zwischen den beschriebenen extremen Formen finden sich alle möglichen Mittelstufen, namentlich in den hintern Hörnern eingestreut. — Die grössten Widersprüche bestehen rücksichtlich des Vorhandenseins der Eigenschaften und der Verbindung der Ganglienfortsätze. Da die Ganglienkörper bald mit und bald ohne Fortsätze erscheinen, so erklärt die eine Reihe von Beobachtern die Fortsatzlosen für verstümmelte Formen, während die andere Reihe sogenannter Forscher den Fortsatz als ein Kunstprodukt ansieht. — Die Fortsätze aber, insofern man ihre Existenz nicht bestreitet, erklärt man, wenn man von der Vorstellung ausgeht, dass die Fortsätze in die Nerven übergehen, bald für die abgerissenen Nervenröhren, bald aber auch nur für ein abgerissenes Primitivband; oder aber man hält sie für Gebilde, die von den Nerven vollkommen unabhängig sind, und die demnach entweder geschlossen endigen oder sich in die Fortsätze der anliegenden Körper münden.

Ueber die Zusammenfügung dieser anatomischen Bausteine im Rückenmark und ihre Verbindung mit andern Nervenmassen gehen mehrere Hypothesen. Bei mannigfachen Widersprüchen der sie stüzzenden Beobachtungen darf mit einiger Wahrscheinlichkeit als feststehend angenommen werden, dass jede in das Rückenmark eintretende Wurzelröhre durch die zunächst gelegene weisse in die graue Masse dringt, Stilling. Weiterhin gelangen dann die vorderen Wurzelröhren zwischen die grossen vielstrahligen Ganglienkörper, Kölliker, ziehen von da entweder sämmtlich oder vielleicht nur theilweise zur vordern weissen Commissur, Ed. Weber, und laufen in der entgegengesetzten Rückenmarkshälfte entweder geradezu oder mittelst virtueller Fortsetzung (nach einer Unterbrechung) in das Hirn; auf diesem Wege sind entweder alle oder nur einige Röhren mit einer Ganglienzelle in solcher Verbindung, dass einer der Fortsätze in die Nervenröhre unmittelbar übergeht, Schilling. Die hintern Wurzelröhren durchschneiden die feinen Ganglienzellen der gelatinösen Substanz und kommen somit zwischen die etwas grösseren blassen der Hinterhörner; ihre Fortsetzung jenseits derselben ist unbekannt.

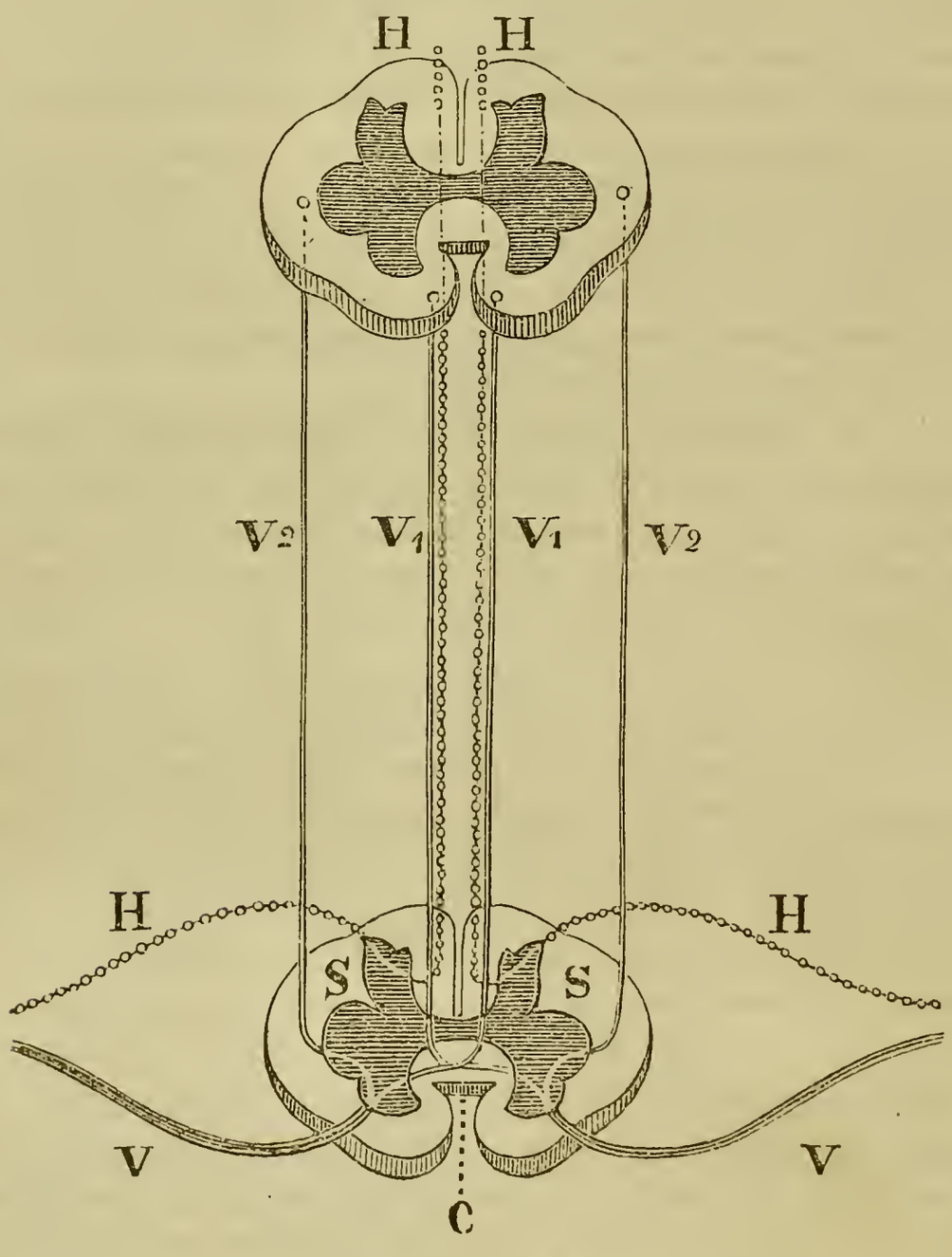
Nach Stilling und Volkmann bilden den Grundstock des Rückenmarks die Röhren des intermediären Systems, oder mit andern Worten, Röhren, welche gestrekten Verlaufes vom Hirn bis zum Schluss des Rückenmarkes gehen und sich an die Elemente der Nervenwurzeln anlegen, ohne in diese überzugehen. Senkrecht gegen das intermediäre System verlaufen die Elementartheile der Nervenwurzeln, welche also das Rückenmark vorzugsweise querdurchsetzen, und somit entweder gar nicht

oder nur auf kurze Strecke nach der Längeaxe des Rückenmarkes aufsteigen; sie sollen dann in der grauen Substanz auf eine noch unbekannte Art entspringen.

Die Gründe für diese Annahme sollen darin gefunden werden: dass nachweisslich quer- und längslaufende Stränge von Nervenröhren im Rückenmark vorkommen, von denen wohl die querlaufenden, keineswegs aber die längslaufenden, in die Nervenwurzeln verfolgt werden können; dass die Dicke des weissen Rückenmarks in seinem Halstheile überhaupt nicht hinreicht, um alle aus ihm entspringenden Nervenwurzeln zu beherbergen und dass die verschiedenen Anschwellungen des Rückenmarks an den Stellen, an welchen beträchtliche Nervenmengen aus ihm austreten, sich leicht erläutern, wenn man sie durch den hier liegenden Ursprung der Nervenröhren erklärt. —

Dieser steht geradezu eine andere noch ins Genauere gehende Hypothese entgegen, welche von Kölliker zuerst scharf ausgesprochen ist, zu der aber von man-

Fig. 28.



nigfachen Seiten her Thatsachen geliefert sind. Nach ihr Fig. 28, treten die Nervenröhren der vordern Wurzeln *V* quer durch die weise Masse in die Vorderhörner der grauen Substanz und fahren hier in zwei Hauptrichtungen auseinander; die eine von ihnen, die aus dem innern Bündel der Wurzeln besteht, geht aus der grauen Substanz in die vordere weisse Commissur zur entgegengesetzten Rückenmarkshälfte und biegt, wenn sie diese erreicht, nach aufwärts, um die sog. weissen Vorder-

stränge zu bilden *V C V*¹. Der andere Zug dagegen dringt aus den grauen Vorderhörnern in die Seitenstränge und steigt in diesen zum Hirn empor *V S V*¹. Die hintern Wurzeln *H* dringen durch die substant. gelatinosa in das hintere graue Horn, und verhalten sich hier ebenfalls verschieden. Ein Theil biegt sogleich aus den hintern Hörnern in die hintern Stränge derselben Seite und verläuft von da aufwärts; ein anderer biegt etwas später aus den grauen Hörnern in die gleichseitigen Seitenstränge und verläuft in diesen nach dem Hirn, in der Zeichnung ist nur der erstere Zug dargestellt (*H H*¹). Zweifelhaft bleibt es, ob endlich ein dritter Zug hinterer Wurzelfasern in der grauen Commissur zur entgegengesetzten Seite tritt und hier in der grauen Masse oder den Hintersträngen aufwärts dringt. — Kölliker lässt es zweifelhaft, ob ein eigenthümliches System von Rückenmarkfasern ein sog. intermediäres vorhanden sei. — Diese Darstellung gründet sich darauf: dass der eben beschriebene Verlauf der Fasern aus Bildern von mikroscopisch feinen Längs- und Querschnitten des Rückenmarks, das in Chromsäure oder chromsaurem Kali gehärtet ist, abgeleitet werden kann; dass die mikroskopische Untersuchung der Rückenmarkselemente keine Nervenursprünge erweisst; dass wenn man die beim Eintritt in das Rückenmark zu Stande kommende Verschmälerung der Nervenröhren berücksichtigt, der Durchmesser des Rückenmarks allerdings ausreicht, um alle in den Wurzeln enthaltenen Nervenröhren aufzunehmen; dass in den Anschwellungen des Rückenmarkes, welche den Ursprüngen starker und zahlreicher Nervenwurzeln entsprechen, keineswegs die weisse, sondern nur die graue Substanz zunimmt; dass die Masse der weissen Substanz von unten nach oben stetig zunimmt und namentlich, dass die Punkte, aus denen die sog. vordern Nervenwurzeln kommen, um so weiter von der vordern Mittellinie des Markes sich entfernen, je mehr nach oben sie liegen, während sie am con. terminal. die Mittellinie erreichen.

Bruchstücke zu einer Vorstellung über den Bau des Rückenmarks, die sich nur theilweise mit jeder der beiden ersteren Anschauungen vereinigen lassen, geben die Untersuchungen von Schilling*). Der Grundstock des Rückenmarks besteht nach ihm in der weissen Masse aus Längsröhren und in der grauen Masse, wozu er auch die vordere Commissur zählt, aus Querröhren. Diejenigen Längsröhren, welche auf der Oberfläche das Rückenmark nach Art eines Mantels umkleiden, verlaufen ohne nachweisbares Ende vom Hirn zum Conus; diejenigen, welche zwischen diesem Mantel und der grauen Masse eingeschlossen sind, nehmen dagegen an Zahl von oben nach unten hin ab, ungefähr proportional der Menge von fortlaufend aus dem Rückenmark austretenden Wurzelröhren; da sie jedoch in die letztern nicht übergehen, so enden sie wahrscheinlich in den Ganglienkörpern der grauen Masse. Die Querfasern verknüpfen, da sie wahrscheinlich gar nicht (und wenn nur zum kleinsten Theil hinten) in Wurzelröhren übergehen, ebenfalls die Ganglienkörper miteinander. Zwischen dieses, dem Rückenmark insbesondere angehörige Flechtwerk treten nun die hinteren und vorderen Nervenwurzeln ein und dringen sogleich in die zunächst gelegene graue Substanz; dort biegen die erstern, ohne sich mit den gegenüberliegenden zu kreuzen, alsbald in den hintern Hörnern aufwärts, um wahrscheinlich ohne Aufenthalt zum Hirn zu laufen, während die vordern Wurzeln nachweisslich in die vielstrahligen Ganglienzellen der Vorderhörner münden. — Die Gründe, welche Schilling für seinen Bauplan geltend macht, liegen, ausser der Uebereinstimmung mit den von ihm gefundenen mikroskopischen Bildern, theils in dem Zweifel, dass die Köllikerschen Messungen und Annahmen über das Verhältniss der Querschnittssumme sämmtlicher Nervenwurzeln zu derjenigen des weissen Halsmarkes auf richtigen Voraussetzungen fussen, theils darin, dass die weisse Masse von unten nach oben auf dem Querschnitte nicht in dem Maasse zunimmt, in welchem die eintretenden Nervenwurzeln sich mehren. Im Gegentheil soll der Querschnitt des weissen Markes periodisch an Umfang zu- und abnehmen, gerade so wie die Menge

*) De medullæ spinalis textura ratione inprim. etc. Dorp. 1852.

der aus einem Umfang austretenden Wurzelröhren, und nicht minder soll die Menge des auf einem Querschnitt vorhandenen grauen Markes im Verhältniss zu der jeweiligen Zahl von Wurzelursprüngen stehen, welche aus dem Umfang treten.

Diese drei Annahmen stehen sich rücksichtlich ihrer Wahrscheinlichkeit so lange noch gleichberechtigt gegenüber, als die Untersuchungen, aus denen sie erschlossen sind, keinen höheren Grad von Genauigkeit beanspruchen können.

Das Widersprechende und Zweifelhafte in der Anatomie des Rückenmarkes findet seine hinreichende Erklärung, weil man die Fehlerquellen der Methoden gar keiner Diskussion unterwirft. Namentlich vermisst man Mittheilungen darüber, wie sich durch das Rückenmark hindurch pia mater und Gefässe verhalten; wie es gelungen sei, den gemessenen Schnitt immer senkrecht gegen die Längsachse des Rückenmarks zu führen; ob die Härtungsmittel ein überall proportionales Schrumpfen, namentlich an Nervenstämmen und dem Rückenmark erzeugen; auf wie zahlreichen und genauen Messungen sich die mittlere Verhältnisszahl gründe, die das Verschmälern der Nervenröhren im Rückenmark ausdrückt; welche Mittel dafür Bürgschaft leisten, dass die Nervenröhren von normalem Durchmesser der Messung unterworfen wurden; wie angenähert die hypothetische Form, die man bei der Rechnung für das Rückenmark zu Grunde legte, mit der wahren übereinstimmt u. s. w. u. s. w. — Ferner ist es sehr natürlich, dass die willkürlich, nicht genau nach dem Faserverlauf angefertigten Durchschnitte Bilder zum Vorschein bringen, welche sich in der Vorstellung auf das Mannigfachste verknüpfen lassen; man muss sich nur darüber wundern, dass die Zahl der hypothetischen Strukturen nicht schon zahlreicher ist.

Physiologisches Verhalten. — Die vom Rückenmarke ausgehenden Nervenröhren stellen Bindeglieder zwischen ihm und den peripherischen Verbreitungsbezirken dar, durch die irgend welche Erregung erzeugende Zustände des Rückenmarkes den äussern Organen und umgekehrt solche der äussern Organe dem Rückenmarke mitgetheilt werden können. Da nun ferner das Rückenmark die wirklichen oder virtuellen Fortsetzungen der Wurzelröhren enthält, so müssen auch die Erregungszustände dieser sich dem Hirn und die des Hirnes sich den Nervenwurzeln mittheilen; in diesem Sinne ist es zu nehmen, wenn das Rückenmark Leitungsorgan genannt wird. Ausser dieser Abstraction, welche die anatomische Erfahrung an die Hand gibt, deckt aber der physiologische Versuch noch anderweite Eigenthümlichkeiten des Rückenmarkes auf, die sie beziehen auf eine besondere Art von Verbreitung resp. Mittheilung der Erregung, auf eine eigene Weise gegenseitiger Lagerung der Nervenröhren, auf ein spezifisches Verhalten gegen Erregungsmittel respective auf eigenthümliche Verhältnisse der Erregbarkeit. — Unsere Darstellung der Nervenwurzeln und des Rückenmarkes wird die aufgezählten Eigenschaften der Reihe nach in Betracht ziehen.

1. Verbreitungsbezirk der Rückenmarksnerven in der Peripherie.*) — Um den Verbreitungsbezirk einer Nervenwurzel mit absoluter Schärfe zu erfahren, ist es nothwendig, ihre Nervenröhren in

*) Longet, Anatomie et Physiologie du systeme nerveux de l'homme etc. I. 1842. — Volkmann, Artikel Nervenphysiologie in Wagners Handwörterbuch II. Bd. — Eckhard, Ueber Reflexbewegung der vier letzten Nervenpaare des Frosches. Henle u. Pfeufer VII. Bd. — Stannius, das peripherische Nervensystem der Fische 1849.

Erregung zu versetzen und diese in jenen isolirt zu erhalten, während die Nervenröhren und das Organ, auf das sie nach der Voraussetzung sichtlich einwirken, sich in vollkommen lebenskräftigem und namentlich im erregbarem Zustand befindet, und der Nerv mit dem betreffenden Organ in normaler Berührung steht. — Diesen Anforderungen ist nicht überall Genüge zu leisten.

Zur Erzielung der Erregung bedient man sich der bekannten Mittel; unter diesen würden für unsere Zwecke chemische und mechanische vorzuziehen sein, wenn sie nicht den Nachtheil mit sich führten, dass sie das unmittelbar getroffene Nervenstück entweder meist vollkommen abtödteten oder es nicht erlaubten, die Erregung örtlich nach Willkür zu beschränken. Wir sind demnach vorzugsweise auf den elektrischen Strom angewiesen; er bietet namentlich den Vortheil, dass man bei seiner Anwendung denselben Versuch oft wiederholen und damit das Ergebniss des Versuchs fester stellen kann. Seine Benutzung ist darum in allen Fällen anzurathen, wenn es möglich ist, den Nerven mit schwachen galvanischen Strömen, die vermittelst verschiedener Hilfsmittel, die ihre Wirkung auf den Nerven isoliren, zur Entwicklung seiner physiologischen Kräfte zu veranlassen. Ein schwacher galvanischer Strom wird, wie aus früherem erhellt, nothwendig, weil hierdurch die unipolare und die paradoxe Wirkung abgehalten wird. Behufs der Isolation des angewendeten elektrischen Stroms auf den Nerven lässt man den ersteren durch möglichst feine und einander möglichst genäherte, unmittelbar auf den Nerven angewendete Spitzen ausströmen, nachdem man den Nerven vorher auf eine elektrisch isolirende Grundlage (Glas, Glimmer, Wachstafft u. s. w.) gebracht hat. In vielen Fällen gelingt es, trotz Anwendung aller dieser Hülfsmittel nicht, die Erregung innerhalb einer bestimmten, ursprünglich abgesondert in Thätigkeit gesetzten Zahl von Nervenröhren gebunden zu erhalten, weil die natürliche, für unsere Kunstmittel unlösbare Verbindung derselben mit andern Nervenröhren derartig angelegt ist, dass der erregte Zustand des einen Nervenrohrs Erregungsmittel für die andern nebenliegenden wird. In diesem Fall folgt unfehlbar auf Erregung eines Theils des Systems eine physiologischen Wirkung in allen ursprünglich auch nicht erregten Gliedern desselben, wobei begreiflich der Nachweiss gar nicht geliefert werden kann, ob überhaupt der ursprünglich erregte Nerv in die physiologisch reagirenden Organe sich begibt.

Schliesslich sind die erwähnten Versuche oft mit einer beträchtlichen Unsicherheit behaftet, weil nicht immer entschieden werden kann, ob das Ausbleiben eines Erfolges von der ursprünglichen Anlage des Nerven, oder von einer Erschöpfung der Leistungsfähigkeit des Nerven oder des entsprechenden Gewebes abhängt. Dieser Uebelstand wird von um so grösserer Bedeutung, wenn es in die Lebensfunktionen eines Organes mit eingerechnet ist, unter gewissen noch nicht näher bekannten Umständen zeitweise dem Einfluss der Nerven entzogen zu sein. Ein negatives Resultat wird darum nur erst durch zahlreiche unter verschiedenen Umständen angestellte und immer gleichlautende Ergebnisse werthvoll. Man muss sich, um zur vollkommenen Einsicht in die Bedeutung der vorliegenden Untersuchungsmethode zu gelangen, einprägen, dass selbst im glücklichsten Falle nur der Nachweiss einer gewissen schliesslichen Vertheilung des Nerven geliefert, dagegen über den ganzen Verlauf des Nerven keine Auskunft ertheilt wird. Die physiologische Methodik hat noch keinen Versuch gemacht, diese letztere Frage experimental zu lösen, wozu vielleicht der elektrotonische Zustand dienen könnte.

Bezüglich des Verbreitungsbezirkes der Rückenmarksnerven hat es sich als ein unzweifelhaftes Resultat ergeben, dass alle Muskeln des Rumpfes, so weit sie überhaupt von dem Rückenmark abhängig sind, nur durch die sog. vordern Rückenmarkswurzeln in Be-

wegung versetzt werden; dass dagegen alle Nervenröhren, welche die einzelnen Rumpftheile mit den empfindenden Stellen des Hirnes verbinden, durch die sog. hintern Wurzeln aus dem Rückenmark hervortreten. Dieser Satz, welcher unter dem Namen des Bell'schen Gesetzes bekannt ist, wird gewöhnlich auch in der Weise ausgedrückt, dass man die hintern Wurzeln die sensibeln, die vorderen die motorischen nennt. Diese kurze Bezeichnung darf mit vollem Rechte insofern aufgenommen werden, als es erwiesen ist, dass durch die hintern Wurzeln keine Nervenröhren austreten, welche sich mit den Muskeln in solcher Verbindung befinden, vermittelst welcher sie Bewegungen derselben veranlassen könnten; und weiter, dass durch Erregung der vordern mit dem Gehirn in Verbindung stehenden Wurzeln niemals Empfindungen bewerkstelligt werden könnten. — Der Gegensatz zwischen motorisch und sensibel findet demgemäss in der vollkommensten Weise statt. Unerwiesen ist es dagegen, ob nicht noch Nervenröhren in einer oder in beiden Wurzeln laufen, welche andere physiologische Funktionen als die der Empfindung und der Muskelkontraction anzuregen im Stande sind; es darf demnach der Ausdruck sensible und motorische Wurzel nicht im exclusiven Sinne gebraucht werden.

Dieses Gesetz ist für alle Wirbelthierklassen bestätigt. Denn: durchschneidet man bei erhaltener Verbindung des Rückenmarkes mit dem Hirn die vorderen Wurzeln eines bestimmten Theils, so ist alle willkürliche Bewegung in ihm erloschen, die Empfindung desselben dagegen vollkommen erhalten, so dass durch entsprechende Einwirkungen (Druck, Brennen, Aetzen der Haut) Aeusserungen des lebhaftesten Schmerzes (Schreien, Fluchtversuche u. s. w.) von dem in Bezug auf seine Muskelverrichtungen gelähmten Theile eingeleitet werden können. Hat man dagegen die hintern Wurzeln mit Erhaltung der vordern durchschnitten, so tritt die umgekehrte Reihe der Erscheinungen hervor, indem nun das Glied dem Willen vollkommen unterthan ist, aber von keinem Punkt desselben aus auch nur die geringste Schmerzensäusserung erregt werden kann; jede selbst sanfte Berührung der mit dem Rückenmark in Verbindung befindlichen Stümpfe der hintern Wurzeln erzeugt dagegen lebhafte Schmerzen.

Die Erscheinungen am durchschnittenen, vom Hirn getrennten Rückenmark ergänzen die ebengegebenen vollkommen; durchschneidet man die vordern Wurzeln an einem solchen Stumpfe, so ist keine Erregung dieses letzteren im Stande, Muskelzuckungen zu bewerkstelligen, die aber augenblicklich hervortreten, wenn man die Stücke der vordern Nervenwurzeln, welche mit den Muskeln noch in Verbindung sind, den erregenden Einflüssen aussetzt. Durchschneidet man aber nur die hintern Wurzeln eines solchen Stumpfes, so folgt jedem Eingriff auf das Mark eine Bewegung; sie bleibt dagegen vollkommen aus, sowie man die mit dem Gliedmaasse in Verbindung stehenden hinteren Wurzeln den Einwirkungen mechanischer, elektrischer etc. Effekte aussetzt.

Longet*) machte und widerrief aber später eine Beobachtung, welche im Stande gewesen wäre, die ausschliessliche Geltung des Bell'schen Gesetzes aufzuheben. Nach ihr sollten nämlich auch die vordern Wurzeln empfindlich sein;

*) Longet, Traité de physiologie. Paris 1850. II. Bd. 2e part. 274. — Schiff, Archiv für physiol. Heilkunde X. Bd. 133.

Magendie, der Longet's Beobachtungen wiederaufnahm, erklärte darauf, dass diese Empfindlichkeit den vordern Wurzeln mitgetheilt werde durch Röhren, welche mit den hintern Wurzeln aus dem Rückenmark treten, sich dann an der Verbindungsstelle beider Nervenwurzeln umbiegen; denn es wurde nach Magendie die Empfindlichkeit der vordern Wurzeln vernichtet, wenn die entsprechenden hintern durchschnitten waren

Die einfache Auslegung, welche die Thatsachen erfahren, wenn man aus ihnen erschliesst, dass die vordern Wurzeln mit den zugehörigen Nerven zu den Verbindungsgliedern zwischen Seele (oder Willensorgan) und den Muskeln, und dass die hintern Wurzeln zu den Bindegliedern bestimmter empfindlicher Körperregionen und der Seele (oder dem Empfindungsorgan) gehören, ist nicht allseitig anerkannt. Man schliesst (oder schloss) gewöhnlicher, dass durch diese Versuche eine spezifische Natur der Nerven erwiesen werde, vermöge deren jede Art der Nerven entweder überhaupt nur zu einer ganz spezifischen Art der Reaktion befähigt wäre, d. h entweder nur einen Bewegungs- oder einen Empfindungsakt einleiten könne, oder vermöge deren ein für beide Fälle gleichartiger innerer Zustand in den motorischen Wurzeln nur nach der Peripherie (centrifugal, rechtläufig), in den sensiblen dagegen nur nach dem Rückenmark und Hirn (centripetal, rückläufig) geleitet werden könne. An einer andern Stelle kann erst die Seite 95 begonnene Widerlegung der ersten dieser beiden Vorstellungen vollendet werden, während die der letzteren schon S. 113 gegeben ist.

Eine Vergleichung des Umfangs sämmtlicher hinteren und vorderen Wurzeln überzeugt uns, dass die hintern Wurzeln überwiegend mehr Fasern enthalten, als die vordern. Diese Behauptung würde schon richtig sein, wenn beide Wurzelmassen Nervenröhren von gleichem Durchmesser enthielten; denn es verhält sich der Querschnitt der vordern Wurzeln zu dem der hintern nach Blandin und Kölliker:
Am Halsmark = 1 : 2 oder = 1 : 2,9 mit Ausnahme des ersten Halsnerven.
„ Dorsalmark = 1 : 1 oder = 1 : 2,0
„ Lenden- und
Sacralmark = 2 : 3 oder = 1 : 2,2 bis zum dritten Sacralnerven incl.

Dieses Verhältniss der Zahl von distinkt aus dem Rückenmark austretenden Fasern steigert sich dagegen noch sehr zu Gunsten der hintern Wurzeln, wenn man bedenkt, dass der mittlere Durchmesser der einzelnen Röhren in den vordern Wurzeln 0,0060‴ p. in der hintern dagegen nur 0,004‴ p. beträgt. Ob dagegen die Summe der wirksamen Partikeln des Nervenmarks in den vordern Röhren auf einen entsprechenden Querschnitt beider Wurzeln geringer sei als in den hintern bleibt wegen der vermehrten Primitivscheiden ungewiss.

Obgleich allseitig die physiologische Bedeutung der überwiegenden Zahl sensibler Röhren nicht ermittelt ist, so dürfte mindestens durch dieselben das Ziel erreicht sein, dass vermittelst der hintern Wurzeln ein grössere Zahl distinkter Puncte unserer Organe auf isolirte Weise und mit dem Rückenmarke in Beziehung gesetzt sind als durch die vordern.

Nach dem Erkennen dieser Gesetze gestaltet sich nun die nächste Aufgabe dahin, den Verbreitungsbezirken jedes einzelnen Wurzelbündels (da dieses für die einzelnen Nervenröhre nicht geschehen kann), in der Reihenfolge, in welcher sie vom Rückenmark austreten, aufzusuchen.

Die ausserordentliche Unregelmässigkeit, die bei der Zusammenfassung der Wurzelbündel zu Nerven waltet, lässt die Bestimmung der Verbreitungsbezirke einer ganzen Wurzel weniger werthvoll erscheinen. — Die anatomische Methode der Nervenpräparation leistet zu obigem Zwecke, wegen der vielfachen Verschlingung der feinen Nervenelemente, bei der Bildung von sogenannten Nervenstämmen, Plexus und Aesten bekanntermassen nichts. Die physiologische Präparation, deren wir uns schon zur Darstellung der verschiedenen Funktionen der hintern und vordern Wurzeln bedienten, gibt uns dagegen in einer gewissen Beschränkung bei Anwendung der nöthigen Vorsicht und Ausdauer sichern Aufschluss. — Die Verfolgung der motorischen Röhren, die auf ihrem Wege nicht in eine physiologisch complizirte Funktion zu andern Nervenparthieen treten, und in quergestreiften Muskeln von normaler Erregbarkeit enden, denen keine andere Bewegungsursache inhaerirt, gelingt dadurch, dass man vom Rückenmark die Wurzel vollkommen elektrisch isolirt und vermittelst derselben den Kreis einer nicht zu kräftigen, einfachen galvanischen Kette schliesst, nachdem man noch den Muskel, in welchem man Bewegung erwartet, bloss gelegt hat. Nachdem man die Wirkung des betreffenden Nerven unter dem Einfluss der Elektrizität ermittelt hat, muss man zur Controle desselben nie versäumen, noch schliesslich einen mechanischen oder chemischen Einfluss auf den Nerven wirken zu lassen. Je erregbarer der Nerv und Muskel, um so sicherer ist der Erfolg, der bei Warmblütern nur kurze Zeit nach dem Erlöschen des Blutlaufs, bei Kaltblutern dagegen oft noch viele Stunden nach dem Stillstand des Herzens erwartet werden kann. Besondere im Einzelnen zu erwähnende Schwierigkeiten bietet dagegen die Untersuchung der Abhängigkeit des Herzens und der Eingeweidemuskeln von bestimmten Nervenwurzeln. — Die Untersuchung der Verbreitung sensibler Nervenröhren gelingt schwieriger. Die allgemeinste Vorbereitung des Versuchs besteht darin, dass man von den in das Rückenmark gehenden hintern Wurzeln nur die eine zu untersuchende mit dem Rückenmark in Verbindung lässt, alle übrigen hintern dagegen, oder wenigstens alle in der Nähe entspringenden durchschneidet, und nun den vermuthlichen Verbreitungsbezirk mit schwächern oder stärkern Empfindung erregenden Einflüssen (schwachen Kalien oder Säuren, Salzlösungen, höherer Temperatur etc.) angreift.

Die Aenderung, welche die Schmerzhaftigkeit des Angriffs bezeugt, fällt verschieden aus, je nachdem das Rückenmark noch unter dem Einflusse der sogenannten Seelenwirkungen steht oder diesen (durch Betäubung des Thiers mit Opium, Durchschneiden des Rückenmarks etc.) entzogen ist. Im ersten Falle sind die hier eintretenden Zeichen des Schmerzes (dessen Aeusserungen, abgesehen von ihrer Zweideutigkeit, auch noch an die Willkür des Thieres gebunden sind) so unsicher, dass die zweite Methode unbedingt den Vorzug verdient. Die Anwendung des vom Hirn getrennten Rückenmarkes ist auf die Erfahrung basirt, dass jede durch ein hinteres Nervenrohr eintretende Erregung vermöge einer eigenthümlichen Combination desselben mit den Ausläufern der vordern Wurzeln in das Mark auch eine Erregung in diesen, resp. eine Muskelzuckung bewerkstelligt, vorausgesetzt, dass sie dem Willenseinflusse entzogen sind. Die auf Ermittlung dieser Verhältnisse gerichteten Beobachtungen bedürfen einer zahlreichen Wiederholung, weil die Erregbarkeit der sensiblen Fasern noch viel rascher nach dem Tode erlischt als die der motorischen.

Eine solche Versuchsreihe (für motorische und sensible Fasern) müsste nun für ein der menschlichen Organisation näher stehendes Säugethier durchgeführt werden

und dann erst dürfte man Hoffnung haben, aus der Beobachtung zufällig eintretender Verletzungen einzelner Nerven und Rückenmarkstheile eine vollkommene Einsicht in die Vertheilung der Rückenmarksnerven des Menschen zu gewinnen. — Eine solche Reihe steht leider der Wissenschaft noch nicht zu Gebote.

Eine Zusammenstellung der bei verschiedenen Thieren gewonnenen Thatsachen über die Verbreitung der Rückenmarkswurzeln ergibt:

a. Die von einer Hälfte des Rückenmarks entspringenden Wurzeln versorgen nur Bestandtheile derselben Körperhälfte vorausgesetzt, dass ihr Verbreitungsbezirk nicht in die Eingeweide fällt. —

b. Jede grosse räumlich oder functionell geschiedene Gruppe von Bewegungsorganen erhält von einer begrenzten Abtheilung des Rükkenmarks ihre Nervenröhren, ohne Berücksichtigung ihrer relativen Lage zum Rückenmark. Nach den bis dahin bekannten Beobachtungen könnten in diesem Sinne die Nervenwurzeln in vier Gruppen gebracht werden: α) Nerven der Wirbelsäule-, resp. der Rippen- und Bauchmuskeln, insofern diese für die Bewegung der Wirbelsäule benutzt werden; dieses System läuft durch das ganze Rückenmark von oben bis unten, so dass sich sämmtliche Nervenwurzeln in einem gewissen Umfangan ihm betheiligen. — β) Einathmungsnerven, zu diesem Gliede dürfte zum Theil der 3. bis 6. (7.?) Halsnerv gezählt werden können; die Muskeln, welche versorgt werden, sind wenn auch wenige (Mm. scaleni, sternomastoidei, Diaphragma) doch sehr auseinander gelegte, so dass sie sich ziemlich scharf ausscheiden; ob und welche andere zu dieser Abtheilung noch gehören möchten, muss zu entscheiden späteren Untersuchungen überlassen bleiben. — γ) Nerven der obern Extremität, zu denen bekanntlich der grösste Theil der Wurzeln für den plexus brachialis zählt und der mit seinen Aesten ebenso wie die vorhergehende Gruppe tief an den Rumpf heruntergreift, um die an den Bewegungen des Schultergerüstes oder Armes betheiligten Muskeln zu versorgen. — δ) Nerven der Gehwerkzeuge; ein grosser Theil der Wurzeln des plexus lumbalis und sacralis. — Ausser diesen Gruppen dürfte eine weitere Untersuchung wahrscheinlich noch andere, die sich auf Bewegung des Kopfs, der Zunge und des Kehlkopfs, der Muskeln zur Koth- und Harnentleerung und endlich des Geschlechtsapparats beziehen, aufstellen.

c. Derselbe Muskel und dieselbe Hautstelle (oder überhaupt empfindliche Fläche?) wird gleichzeitig von Röhren versorgt, welche durch verschiedene Wurzeln aus dem Rückenmark austreten, und umgekehrt aus derselben Wurzel begeben sich an verschiedene (zu einer grösseren Gruppe gehörige?) Muskeln und Hautstellen Nervenzweige Eckhard.

Aus diesen Vertheilungsgesetzen, welche mit der höchsten Wahrscheinlichkeit als überall bestehende angesehen werden dürfen, ergibt sich die Nothwendigkeit und die Bedeutung der Plexusbildung

für die Muskel- und Hautnerven der grössern Bewegungswerkzeuge, besonders wenn man noch hinzufügt, dass die in den verschiedenen Wurzeln liegenden, aber für dieselben Regionen, Muskeln u. s. w. bestimmten Röhren in einen Nerven zusammengefasst werden müssen. Zugleich wird hierdurch der einzelne sog. Nervenast als ein Lager von Röhren verschiedenartigen Ursprungs bezeichnet. —

Die Beziehungen der Nervenwurzeln zu den Muskeln und empfindenden Flächen der Eingeweide werden bei der Darstellung des sog. nerv. sympathicus behandelt werden.

2. Verbreitung der Wurzelröhren in dem Rückenmark *). Nach der Feststellung des Bell'schen Gesetzes vermuthete man sogleich, dass in den Vordersträngen des Rückenmarks die motorischen und in den Hintersträngen die sensiblen Nerven aufsteigen möchten. Diese Vermuthung hat sich insofern bestätigt, als erwiesen ist, dass die Hinterstränge der Marksubstanz und die hintern grauen Hörner ausserordentlich empfindlich sind, während die vordern Markstränge im Erregungszustand motorisch wirken, niemals aber Empfindungen erzeugen; ausserdem hat man in den Seitensträngen motorische niemals aber sensible Nervenmassen gefunden. —

Die physiologische Erfahrung glaubt sich berechtigt zu diesen allgemeinen Angaben noch folgende besondere beifügen zu können. Die in die Vorderstränge eingetretenen Nervenröhren dringen (entweder direct oder durch die sie repräsentirenden Fortsetzungen des intermediären Systems) zum grössten Theil in dem gleichseitigen Vorderstrang zum Hirn aufwärts, der kleinere Theil aber begibt sich in den entgegengesetztseitigen Vorderstrang, nachdem auch er zuerst während einer längeren Strecke in dem gleichseitigen verlaufen war. — Aehnlich verhalten sich die sensiblen Bindeglieder zwischen Hirn und Nervenwurzeln; denn es verbleibt auch von diesen letztern im Rückenmark nur ein Theil auf der Seite, in welche sie eintraten, während ein anderer Theil zur entgegengesetzten Seite übergeht

Die eben vorgetragenen Sätze gründen sich auf folgende Thatsachen. Durchschneidet man ein Rückenmark an beliebiger Stelle aber vollständig, so sind alle Muskeln, welche ihre Nerven aus den Wurzeln enthalten, die unterhalb des Schnittes aus dem Rückenmark austreten dem Willenseinfluss entzogen, während die Muskeln, die ihre Nerven auch aus oberhalb des Schnittes abtretenden Wurzeln erhalten, ihm noch vollkommen unterthan sind. Erregt man dann auf beschränkte Weise die vorderen Stränge an der Schnittfläche des untern Rückenmarkstumpfes, so erscheinen in allen Muskeln, deren Nerven unterhalb der Schnittstelle entspringen, Bewegungen in ähnlicher Weise, als ob man die Wurzeln selbst erregt haben würde. Diese Thatsache beweist unzweideutig das Aufsteigen der Wurzelröhren

*) Ausser der früher angeführten Literatur Eigenbrod, Ueber die Leitungsgesetze im Rückenmark; Giessen 1849. — Kölliker, mikroskop. Anatomie II. 1. 439. — Brown — Séquard de la transmission des impressions sensitives etc. Compt. rend. 1850. XXXI. Bd. — L. Türk, Ueber den Zustand der Sensibilität. Wien. Zeitschrift für d. G. d. A. März 1851. — Ergebnisse physiolog. Untersuchungen, Sitzungsberichte der Wiener Akadem. Apr. 1851. — Ueber secundäre Erkrankung einzelner Rückenmarksstränge und ihrer Fortsetzung. Ibid. März 1851.

oder ihrer virtuellen Fortsetzung in den vorderen Strängen. — Zweideutig sind die Beobachtungen ausgefallen, welche die theilweise Kreutzung der motorischen Röhren im Rückenmark beweisen sollen. Nach einigen Beobachtern soll ein einseitiger (bis zu den Längenfurchen geführter) Querschnitt einzig eine vollkommene Lähmung der gleichseitigen Muskeln, und eine isolirte Erregung der durchschnittenen Markhälfte nur Bewegung in den Muskeln der dem Schnitt entsprechenden Seite hervorrufen. — Diese Thatsache würde der Annahme einer Kreuzung widersprechen. — Andere Beobachter versichern dagegen, dass einseitige Durchschneidung auf der gleichen Seite vollkommene und auf der entgegengesetzten Seite unvollkommene Lähmung herbeiführen; dieses Resultat ist gar keiner Deutung fähig, denn wenn auch die Halblähmung der Muskeln in der dem Rückenmarkschnitte entgegengesetzten Seite für Kreuzung spricht, so ist doch die vollkommene Lähmung auf der gleichen Seite aus der Kreuzung vollkommen unklar. — Endlich behauptet eine dritte Reihe von Beobachtern, dass halbseitige Durchschneidung des Rückenmarks Halblähmung in beiden Körperhälften bedinge, so jedoch, dass die auf der Seite des Schnittes gelegenen Muskeln dem Willen mehr entzogen seien, als die an der entgegengesetzten Seite befindlichen. — Vielleicht erklärt sich die Verschiedenheit der Resultate, welche die ersten und dritten Beobachter erhielten, dadurch, dass sie verschiedene Thiere dem Versuch unterwarfen und den Schnitt in ungleichem Abstand von den Nervenwurzeln führten. — Beim Frosche nämlich ist der Befund günstiger für die Hypothese der Kreuzung als beim Säugethier; und je höher man den Schnitt über den Wurzeln für die unteren Extremitäten beim Säugethier anbrachte, um somehr scheinen sie ebenfalls für die Annahme theilweiser Kreuzung zu passen. — Keine Beobachtung bestätigt dagegen die aus den anatomischen Beobachtungen gezogenen Schlüsse, wonach die Kreuzung der motorischen Elemente nahe oder unmittelbar über dem Wurzeleintritt geschehen soll. — In wie weit alles vorstehende auf das Rückenmark des Menschen übertragbar sei, müssen noch gute pathologische Beobachtungen lehren; für jetzt scheint aus diesen letzten nur mit Sicherheit geschlossen werden zu dürfen, dass die Vorderstränge die motorischen Röhren enthalten. —

Die Resultate, welche die Versuche an den hinteren Strängen liefern, sind auf den ersten Blick noch viel zweideutiger. Eine Erregung derselben auf einem mit dem Hirn verbundenen Querschnitt bewerkstelligt allerdings lebhafte Schmerzensäusserungen, und nach Durchschneidung der hintern (und eines Theils der seitlichen?) Stränge des Rückenmarks verhalten sich allerdings alle Rumpftheile, welche ihre sensiblen Nerven aus dem vom Hirn getrennten Stücke beziehen, vollkommen empfindungslos. Mit der Erregung treten dagegen fast unter allen Umständen Bewegungen hervor, so dass auf den ersten Blick die Hinterstränge ausser den sensiblen Röhren auch noch motorische zu enthalten scheinen. Eine genauere Vergleichung der Bewegungen und der Umstände unter welchen nach Erregung der Hinterstränge Bewegung eintritt, lehrt bald, dass die Versuche auf keine unmittelbare und einfache, sondern auf eine sehr complizirte Beziehung zwischen Hintersträngen und motorischen Functionen hinweisen. Denn 1) nach oberflächlicher Erregung eines Querschnitts an dem Stumpfe, der mit dem Hirn in Verbindung steht, (centraler Stumpf) treten Bewegungen in Muskeln ein, deren Nerven weit oberhalb des Schnittes entspringen, obwohl alle Beobachtungen darin übereinstimmen, dass niemals die motorischen Wurzeln im Rückenmark abwärts, sondern immer aufwärts laufen. — 2) Eine Erregung auf dem Querschnitt des Hinterstrangs am peripherischen (vom Hirn getrennten) Stumpfe führt ebenfalls zu Bewegungen, aber erst dann, wenn die Erregung in die Tiefe eindrang, während schon viel näher an der Oberfläche des Querschnittes der vordern Stränge das erregende Mittel Bewegung einleitet. — 3) Wenn in einem Thiere die Erregbarkeit der empfindenden Röhren abgestorben ist, was nach dem Tode immer früher geschieht, als das Absterben der motorischen, so gelingt es

nicht mehr von den hintern Strängen aus Bewegung zu erwirken, während sie die erregten vordern Stränge noch auszulösen vermögen. — 4) Endlich sind die Bewegungen, welche auf Erregung der Hinterstränge eintreten, weder momentane Folgen derselben, noch kann eine so innige Beziehung zwischen Intensität und Dauer der Erregung und Bewegung festgestellt werden, wie diess unter gleichen Umständen bei den Vordersträngen möglich ist. Die in den Muskeln eintretende Bewegung ist keine constante, auf gewisse Muskeln (die sogleich vom Beginn der Erregung an ergriffen waren) beschränkte, sondern sie wechselt in einer gewissen Folge allmälig zwischen allen einzelnen Muskeln des Rumpfes, (sog. klonischer Krampf), so dass mit steigender Dauer und steigender Intensität der Erregung einer bestimmten Stelle nicht dieselben Muskeln in eine intensivere und dauerndere Bewegung versetzt werden, sondern die Bewegungen in immer grösseren Kreisen (über mehr und mehr Muskeln) sich ausbreiten, und die sich bewegenden Muskeln in eine immer raschere Contractionsfolge gerathen. — Diesen Befund ergänzen nun einzelne pathologische Beobachtungen beim Menschen, in welchen eine intensive Zerstörung beider Hinterstränge vorhanden war; in diesen Fällen ist die dem zerstörten Rückenmarkstück entsprechende Rumpfabtheilung vollkommen gefühllos; alle willkürlichen Bewegungen in diesen Theilen sind dagegen vorhanden. In allen Fällen ist aber die Bewegung des entsprechenden Rumpftheils gestört, insofern sie unbewusst geschieht, und namentlich insofern sich einzelne Muskelgruppen zu einer Bewegung combiniren, so dass z B. der Gang, insofern er nicht mit besonderer Aufmerksamkeit des Geistes ausgeführt ist, schwankend und unsicher wird. — Aus allem diesen darf darum wohl mit vollkommener Berechtigung geschlossen werden, dass die Hinterstränge nicht die Bindeglieder zwischen Seele und Muskeln enthalten; wie die Beziehungen zwischen Muskelnerven und Hintersträngen aufzufassen sind, werden wir alsbald ausführlicher darlegen.

Für die Annahme, dass die beiden hinteren Stränge ihre Röhren austauschen, spricht das Resultat des Versuchs, dass nach vollkommener Durchschneidung einer Rückenmarkshälfte die Empfindung der Oertlichkeit in den von dem abgetrennten Rückenmark versorgten Rumpfstücken noch erhalten bleibt Inwiefern zum vollkommenen Beweis einer Faserkreuzung nicht überhaupt Empfindung, sondern auch die der Oertlichkeit verlangt wird, muss einer erst später verständlichen Begründung überlassen bleiben; dass aber das Gefühl der Oertlichkeit besteht, geht daraus hervor, dass die Thiere bei Verletzungen gegen die verletzte Stelle sich wenden und mit den willkürlich beweglichen Theilen den verletzenden Gegenstand zu entfernen suchen. Diese Kreuzung geschieht keinenfalls in einer dem Wurzeleintritt nahen Horizontalebene, sondern in einiger Entfernung über demselben, weil die Empfindlichkeit in allen Theilen vollkommen verschwindet, über deren zugehörigen Nervenwurzeln der Schnitt unmittelbar durch das Rückenmark geführt ist, sich dagegen um so lebhafter erhält, je höher über den erregten Wurzelfaden der Schnitt liegt. —

Die Seitenstränge und namentlich ihr an die Vorderstränge grenzender Theil führen jedenfalls motorische Fasern; dass die Seitenstränge und namentlich in den Grenzparthieen gegen die Hinterstränge sensible führen, ist mindestens nicht erwiesen, und insofern nicht widerlegt, als die Versuche an Säugethieren den Einwand erlauben, dass wegen einer durch die eingreifende Operation herbeigeführte Empfindungslosigkeit geringe Mengen sensibler Fasern übersehen werden könnten. —

In die graue Substanz treten nach übereinstimmenden Angaben guter Autoren, welche hierfür den Beweis durch directe Erregung der Querschnitte des Rückenmarks zu führen suchten, keine motorischen Röhren ein; dieser Beweis scheint kaum durch die Erscheinungen der willkürlichen Lähmung nach Durchschneidung der ganzen vorderen Hälfte des Rückenmarks erschüttert werden zu können. Nach dieser Operation bestehen allerdings noch schwache willkürliche Einflüsse auf die unterhalb des Schnittes gelegenen Nerven, aber es bleibt auch nach dieser Operation

neben der grauen Substanz noch ein grosser Rest der Seitenstränge unverletzt übrig, die erwiesener Maassen motorische Fasern enthalten.— Sensible Röhren werden dagegen von der grauen Substanz und zunächst von den Hinterhörnern aufgenommen, denn diese zeigen sich bei directer Erregung empfindlich; es scheinen aber auch die sensiblen Fasern in die Vorderhörner einzudringen, weil nach Durchschneidung der hintern Hälfte des Rückenmarks in den unterhalb liegenden Parthieen Empfindung besteht, so lange überhaupt eine Brücke von grauer Substanz zwischen dem untern und obern Rückenmarkstück erhalten ist, die aber sogleich verschwindet, wenn man den letzten Rest der Vorderhörner abgetrennt hat. — Eine nicht zu vernachlässigende Andeutung für den Gang weiterer Untersuchungen über die relative Lage der Nervenursprünge zur Rückenmarksfurche besteht darin, dass die vordern Wurzeln um so weiter von derselben entfernt entspringen, je höher sie abtreten, so dass sie am untern Ende unmittelbar aus der vordern Furche kommen, während die hintern Wurzeln überall in annähernd gleicher Entfernung von der hintern Längsspalte austreten.

3. Mittheilung der Erregungszustände in den Nervenröhren des Rückenmarks*).

Die Erregung, welche innerhalb der Nervenröhren des Rückenmarks besteht, kann sich auf verschiedene Art verbreiten; sie ist vermögend sich entweder innerhalb der erregten Röhren zu isoliren, so dass die Leitung des erregten Zustandes nur an den Berührungsstellen des Nervenmarkes vor sich geht, oder sie kann sich von einem Rohr auf ein anderes verbreiten, so dass dann die Leitung durch die Scheiden hindurch geschieht.

Auf die Gegenwart des ersten Falles, der sog. Längenleitung schliessen wir, weil vom Willen aus ganz beschränkte Bewegungen ausgeführt werden können, und weil ganz eng umgrenzte erregende Einwirkungen auf empfindliche Flächen ebenso beschränkte Empfindungen erzeugen. Beides wäre unmöglich, wenn die Erregung auf dem Wege von oder nach dem Hirn nicht vollkommen isolirte Bahnen fände.

Anderntheils kann aber auch eine von beschränkten Stellen in das Rückenmark eintretende Erregung sich einem grossen Theil desselben mittheilen, ohne dass wir eine Kommunikation der Lumina der ursprünglich und der secundär erregten Röhren nachweisen oder auch nur wahrscheinlich machen können. Wir setzen also in diesem Fall voraus, dass die Erregung einer Röhre die Veranlassung zur Erregung der nebenliegenden gegeben habe. Querleitung. — Diesen gegenseitig erregenden Einfluss üben entschieden die sensiblen auf motorische Röhren; ein Gleiches vermuthet man zwischen motorischen und motorischen, sensiblen und sensiblen, motorischen und sensiblen.

A. Mittheilung der Erregung von sensiblen Röhren auf motorische. Reflectorische Erregung, Reflexbewegung. Die Bedingungen zum

*) Kürschner, Uebersetzung von Marshall Hall's Abhandlungen über das Nervensystem. Marb. 1840. — Volkmanns Artikel Nervenphysiologie. Wagners Handwörterb. II. 529. — Henle, rationelle Pathologie I. Bd. 204.

Eintritt dieser Bewegungen bestehen im allgemeinen in einem günstigen Zustand der Erregbarkeit aller in Betracht kommenden Nerven- und Muskeltheile, einer zweckmässigen Anlegung der Erregungsmittel, und einer möglichst vollständigen Vernichtung des Willenseinflusses auf das Rückenmark.

Die Versuche, welche die reflektorische Erregung darthun, gestalten sich sehr einfach. Man dekapitirt ein Thier und erregt auf irgend eine Art einen sensiblen Nerven mit der Vorsicht, keinen motorischen zu treffen. Die Folge dieser Erregung ist fast aller Orts eine Bewegung gewisser Muskeln oder Muskelgruppen. — Zum Beweiss, dass diese Uebertragung der Erregung nur mit Hilfe des Rückenmarks geschieht, trennt man die sensible Wurzel von diesem ab; nach dieser Operation bleiben die wie früher angewendeten Erregungsmittel ohne Erfolg, der aber sogleich wieder in der ursprünglichen Weise hervortritt, wenn man den noch mit dem Rückenmark verbundenen Stumpf der sensiblen Wurzel auf passende Weise erregt. Die Gegenwart des ganzen und unverletzten Rückenmarks ist dagegen nicht nöthig; es scheint als Regel ausgesprochen werden zu können, dass beim Bestehen aller andern Bedingungen so lange Reflexbewegung erweckt werden kann, als eine sensible mit einer motorischen Wurzel noch durch ein Stückchen unverletzten Rückenmarks in Verbindung steht; die einzige Beschränkung, die dieser Satz zu erleiden hat, möchte darin bestehen, dass der Schnitt, durch welchen man das Rückenmark verstümmelt hat, nicht zu nahe am Austritt der Nervenwurzeln geführt sein dürfe, durch welche die Erregung in das Rückenmark ein- und austritt. Denn: bei vollkommener Längstheilung des Rückenmarks erhält sich die Reflexbewegung, aber natürlich nur auf einer Seite; lässt man eine selbst kurze Verbindungsbrücke zwischen beiden Hälften, so kann von einer Seite die ganze andere in Bewegung gesetzt werden; die Durchschneidung nur einer seitlichen hintern oder vordern Hälfte des Rückenmarks verhindert nicht das Erscheinen der Reflexbewegung in den gleichen Parthien jenseits des Schnittes; eben so wenig ist das Erscheinen der Reflexbewegung auf Erregung der Schwimmhaut des Frosches in der obern Extremität beeinträchtigt, wenn man oberhalb der Nervenwurzeln für die untern Extremitäten eine seitliche Hälfte des Rückenmarkes und kurz unterhalb der Wurzeln für die obern Extremitäten die entgegengesetzte Hälfte durchschnitten hat.

Der Versuch gelingt überhaupt um so leichter, je höher die Erregbarkeit des ganzen Nervensystems steht, namentlich bei jungen Säugethieren, deren Grosshirn man mit Vorsicht entfernt hat, so dass der Blutkreislauf noch besteht, dann bei Amphibien, besonders im Frühjahr und Herbst und endlich vorzugsweise nach Vergiftung (örtlicher oder allgemeiner) mit Strychnin und Opium; nach ihrer Einwirkung genügt ein Minimum des Erregungsmittels um die lebhaftesten Bewegungen zu erzielen. —

Die Wahl der Erregungsmittel und des Orts seiner Applikation an demselben Nerven und demselben Thier erscheint ebenfalls von Bedeutung. Zu den Erfordernissen des Gelingens ist in diesem Sinne zu rechnen, die Anordnung eines dauernd wirkenden Erregungsmittels; sehr kurz vorübergehende Eingriffe auf die sensiblen Nerven erzielen keinen Erfolg, wo Anwendung von Säuren, Alkalien oder länger dauernde Einwirkung der elektrischen Inductionsströme ihn noch sichern. Dasselbe Erregungsmittel auf die Nerven in ihrer Verbreitung auf Hautflächen angewendet, ist wirksamer als auf den entsprechenden Nervenstamm, wenigstens bei Anwendung von Drücken; bei Benutzung des Inductionsapparates erscheint dagegen der Unterschied zweifelhaft. Hierher gehört schliesslich auch die Thatsache, dass eine sehr verbreitete (z. B. ein kaltes Bad) oder eine sehr intensive (z. B. das Glüheisen) Einwirkung in allen Fällen Reflexe erzielt. —

Sehr bemerkenswerth ist der Einfluss, welchen die Schwächung oder Vernichtung einer gewissen Hirnwirkung auf das Rückenmark bei dem Entstehen der Reflexbewegungen übt. Man kann den Werth desselben beim Versuch an Thieren und durch Beobachtung des gesunden oder kranken Menschen ermessen; sehr häufig treten bei unverletzten Fröschen auf Einwirkung entsprechender Erregung keine den reflectorischen auch nur entfernt ähnliche Bewegungen ein, während sie unfehlbar erscheinen, so wie man die Thiere dekapitirt; noch auffallender gestaltet sich dieses bei Säugethieren; so lange man sie nicht enthirnt oder ihr Rückenmark vom Hirn nicht getrennt hat, gehören die Reflexbewegungen in den Extremitäten zu den Seltenheiten, sie kommen dagegen nach den erwähnten Operationen ganz regelmässig zum Vorschein, gerade so wie bei vollkommen selbstbewussten Menschen nur Reflexbewegungen in Theilen beobachtet werden, welche entweder normal oder abnorm ganz oder theilweise dem Willenseinfluss entzogen sind. — Eine Reihe von Thatsachen zeigt nun, dass es nicht das Hirn im Allgemeinen sondern nur beschränkte Region ist, welches diesen störenden Einfluss auf die Reflexbewegungen übt; schlafende, trunkene, ohnmächtige Personen, bei denen noch eine beträchtliche Zahl von Hirnthätigkeiten bestehen, sind nichts destoweniger im günstigsten Zustande des Reflexes, und eine Beobachtung an uns selbst lehrt, dass gewisse Reflexe nur nach langer Uebung der Willensstärke niedergehalten werden können, und dass viele von ihnen, die wir in aufmerksamen und geisteskräftigen Augenblicken niederzuhalten im Stande sind, in Zuständen geistiger Schwäche erscheinen.

Der Charakter der Reflexbewegung ist insofern ein spezifischer, als dieselbe niemals in einer stetigen Muskelzusammenziehung besteht, welche die Erregungsdauer des sensiblen Nerven ununterbrochen begleitet. Im Gegentheil, mit dem Eintritt der Erregung oder kurze Zeit nach derselben beginnt ein wechselndes Spiel eintretender und nachlassender Muskelzusammenziehung, wenn sich die Bewegung nur auf einen oder mehrere ungefähr gleichartig wirkende Muskeln erstreckt; dehnt sie sich auf alle Muskeln einer zu gewissen Funktionen zusammengeordneten Muskelgruppe aus, wie z. B. auf Athem-, Schling-, Geruch-, Gehmuskeln etc. so wechseln die Zusammenziehungen der einzelnen Bestandtheile derselben in regelmässiger Reihenfolge ab und gestalten sich räumlich und zeitlich derartig, dass harmonische, nach einem gewissen Plane zusammengefügte Bewegungen zu Stande kommen.

Diese räumliche und zeitliche Combination der Muskeln veranlasst sehr häufig Bewegungen, deren Effect in ganz bestimmter Beziehung zu dem einwirkenden Erregungsmittel steht, so dass das enthauptete Thier z. B, die mit Säure getränkte Stelle mit Hinter- oder Vorderpfoten reibt, das drückende Instrument wegzustossen oder gar zu entfliehen etc. sucht Die Bewegung nimmt mit andern Worten in diesen Fällen den Schein der Zweckmässigkeit, resp. der auf Empfindung folgenden willkürlichen Selbstbestimmung an.

Die besondere Form der Bewegung, d. h. die Zahl und Combination der in Bewegung gesetzten Muskeln wird durch die Oertlichkeit, Dauer, und Intensität der Erregung des sensiblen Nerven bestimmt. Auf eine weniger intensive Erregung einer bestimmten sensiblen Fläche erfolgt mit maschinenmässiger Regelmässigkeit, vorausgesetzt dass normale Verhältnisse bestehen, eine ganz bestimmte Bewegung.

Es wäre von grossem Interesse die reflektorisch zusammengehörigen sensiblen und motorischen Nerven zu kennen; leider sind die hierzu nöthigen Arbeiten kaum begonnen. Man weiss nur, dass Erregung des unteren Theils der hintern Extremitäten eine Spring- (Frosch, Kaninchen) oder Streckbewegung hervorruft; Erregung der Aftergegend das Einziehen des Schwanzes (Kaninchen, Hund) oder ein Strecken und Rückwärtsschlagen der Oberschenkel (Frosch); das Betupfen der Bauchhaut mit Säure ein Streichen des Unterschenkels gegen denselben (Frosch); das Kneipen der Achselgrube ein Anziehen der Oberextremität u. s. w. bedingt. Ferner, dass eine Erregung in sensiblen Nerven eine Muskelbewegung auf derselben Körperhälfte auslöst, vorausgesezt, dass die Bewegungswerkzeuge paarig vorhanden sind. Aus diesen Erfahrungen kann wegen der Mannigfaltigkeit der in alle diese Parthieen dringenden Nerven gar kein Schluss auf die Zusammengehörigkeit gewisser sensibler und motorischer Röhren gemacht werden.

Wirkt dagegen die erregende Ursache dauernder oder mit grösserer Intensität ein, so kann wahrscheinlich von allen Theilen der äusseren Hautflächen eine Bewegung in allen Skeletmuskeln hervorgerufen werden, eine allgemeine Bewegung, die aber wahrscheinlich immer mit der Contraktion derjenigen Muskeln eingeleitet wird, welche in der nächsten reflectorischen Beziehung zu den affizirten Hautstellen stehen. Den Beweiss, dass diese Erregung aller Skeletmuskeln von einem Hautstücke aus unmittelbar vermittelst des Rückenmarkes, und nicht etwa durch Erregung neuer Hautstücke vermittelst der eingeleiteten Bewegungen geschehen, liefert die Thatsache, dass von einem Gliede dessen zugehörige sensible Fasern noch erhalten, dessen motorische dagegen durchschnitten sind, Reflexbewegung in allen andern noch mit dem Rückenmark in Verbindung stehenden Skeletmuskeln hervorgerufen werden kann.

Wie erwähnt gestalten sich die zeitlichen Beziehungen der Erregung des motorischen zu der des sensiblen Nerven mannigfach. Bald treten gleichzeitig mit der Erregung des sensiblen Nerven, bald später als diese die Bewegungen auf, bald enden sie mit der sensiblen Erregung, bald überdauern sie dieselbe beträchtlich. Es darf wahrscheinlich als Regel aufgestellt werden, dass die vom Rückenmark ausgehenden reflektorischen Effekte um so intensiver und von der Grösse des Eingriffs auf den sensiblen Nerven um so unabhängiger ausfallen, je höher die Erregbarkeit des Rückenmarks steht.

Im Frühjahr und Herbst und namentlich nach Vergiftung mit Strychnin können durch sehr unbeträchtliche und vorübergehende Eingriffe sehr andauernde Reflexbewegungen ausgelöst werden.

Eine Theorie der Reflexbewegung, selbst in den allgemeinsten Umrissen gehalten, lässt sich nicht geben; mit andern Worten, es lässt sich nicht nachweisen, warum die in Erregung versetzten Nervenröhren gewisser Abtheilungen des Rückenmarks unter Umständen gerade in der bezeichneten Weise auf eine beschränkte Zahl Röhren eines andern Theils wirken muss.

Folgende mit der Theorie der Reflexbewegung in Verbindung stehende Fragen hat man aufgeworfen, und zu lösen versucht. —

a) Wirken im Rückenmark die innerhalb des Nervenmarks ausser Gleichgewicht gesetzten Kräfte über die Scheide hinaus und welche Bedingungen veranlassen diese Fernwirkung der Nervenkräfte im Rückenmark? — Bevor es bekannt war, dass die in den Nervenröhren entwickelten Kräfte eine Wirkung nach aussen üben konnten, vermittelst deren sie anliegende Röhren in Erregung zu setzen im Stande waren, suchte man die Meinung zu behaupten, dass die Reflexe von Röhrencommunikationen eines besonderen dem Willen nicht unterworfenen Systems (excitomotorischen) abhängig seien; das Rückenmark sollte nach dieser Hypothese bestehen aus willkürlich motorischen und empfindungerzeugenden Fasern, deren centrale Enden im Hirn gesucht werden müssen, und ausserdem aus Fasern, welche gewisse Eindrücke in das Rückenmark führen (excitores), die in andere bewegungserzeugenden (motores) unmittelbar übergehen. Diese Hypothese ist als vollkommen verfehlt anzusehen, weil nach ihr jede empfindende Fläche mit jedem Skeletmuskel durch Nervenkommunikation in Verbindung stehen müsste; eine solche Complikation der Nervenröhren ist nicht nachgewiesen; ja sie kann geradezu als nicht vorhanden angesehen werden, weil keine motorische Nervenröhre beobachtet sind, welche von einer unteren Stelle des Rückenmarks aufwärts gegen höher gelegene Muskeln steigen, obgleich in diesem Sinne die Reflexbewegungen sehr leicht erregt werden können. Hiernach ist es nicht nöthig noch darauf aufmerksam zu machen, dass diese Hypothese es geradezu unmöglich macht zu erläutern, warum unter dem Willenseinfluss die Reflexe nicht erfolgen, warum eine stetige sensible Erregung eine variable motorische bewerkstelligt und endlich warum auf eine beschränkte Erregung nicht jedesmal, sondern nur unter ganz gewissen Bedingungen eine allgemeine Bewegung erfolgt.

Diese soeben erörterte Annahme wird man um so bereitwilliger aufgeben, seitdem thatsächlich erwiesen ist, dass die Nervenkräfte in gewissen Zuständen der Erregung, wie z. B. bei der dipolaren Anordnung der elektromotorischen Molekeln über die Scheide hinaus erregend auf nebenliegende Röhren zu wirken im Stande sind, und somit werden wir geneigt sein die Behauptung aufzustellen, dass die Nervenkräfte der Rückenmarksröhre über ihre Scheide hinaus auf andere erregend zu wirken im Stande sind. Die Bedingungen nun aber, welche vorzugsweise in den Rückenmarksröhren vorhanden sind, um das häufige Erscheinen dieser Wirkung selbst unter Umständen zu erzielen, unter denen sie in andern Nervenröhren nicht erscheinen, kann nicht angegeben werden.

Begreiflich fehlt es aber nicht an Erklärungsversuchen; zu ihnen zählen: das Nervenmark soll in den Spinalröhren erregbarer sein; die dünne Scheide soll der Gegenwirkung geringeren Widerstand entgegensetzen; die Ganglienkörper sollen die Vermittler der Erregungsübertragung sein; die Nervenröhren seien eigenthümlich zueinander gelagert u. s. w. Diese Annahmen bedürfen keiner Widerlegung, so lange man, wie bisher keinen Versuch gemacht hat, sie zu beweisen. Will man den Werth dieser Angaben hoch anschlagen, so sind sie als Ausgangspunkte neuer Untersuchungen anzusehen. —

b) Wovon hängt es ab, dass der Erregung jedes besondern sensiblen Nerven einer ganz bestimmten Bewegung entspricht, und warum ist diese Bewegung immer eine geordnete? Indem man den Reflex als ein Leitungsphänomen auffasst, findet man es natürlich, dass die Erregung einer sensiblen Röhre sich zuerst auf seine Nachbarn und von da ab auch auf entfernter liegende Nerven erstreckt, je nach der Intensität, die die Erregung zuerst besass. Wie und wo die-

ses Weiterschreiten geschieht, ist nun freilich vollkommen unklar; deutlich ist nur, dass bei dieser Annahme es sich allerdings erläutert, wie von bestimmten sensiblen Orten aus immer dieselben Muskeln in Anregung gesetzt werden, wie jedem sensiblen Nerven ferner ein bestimmter motorischer reflectorisch entspricht und endlich wie ein sensibler Nerv je nach der Intensität der in ihm vorhandenen Erregung sehr vielfache motorische zu erregen vermag, aber warum auch diese Erregung immer nach einer gewissen Reihenfolge von Muskel zu Muskeln übergeht. — Um die harmonische Zusammenfügung der Muskeln, ihr Zusammengreifen zu bestimmten Bewegungen in Folge der Reflexe zu erläutern, setzt man voraus, es sei dieser letztere nur möglich an Orten, in denen die den einzelnen Muskeln entsprechenden Nerven, in einer gewissen Ordnung zusammengefasst seien, indem man sich den motorischen Theil des Rückenmarks vorstellt als eine sehr vielfache Verschlingung von Röhren, deren Knotenpunkte in passender Art auf die sensiblen aufgereiht sind. Diese scheinbar sehr annehmbare und zugleich biegsame Hypothese empfängt aber einen schweren Stoss durch die Erscheinung, dass sich eine dauernde sensible in eine variable motorische Erregung umsetzt, und noch mehr dass die motorische Erregung so häufig die sensible überdauert. Diese Thatsachen zeigen, dass von einer einfachen Leitung, einer Uebertragung der Kräfte nicht die Rede sein kann, sondern dass offenbar noch durch irgend welche Zwischenglieder die Erregung von den sensiblen auf die motorischen Nerven übertragen wird. Geister, die der Mystik zugewendet sind, haben auch sogleich als Zwischenglied eine besondere Rückenmarksseele angenommen, die denn freilich etwas ganz anderes sein müsste, als die denkende und bewusste Hirnseele, da durch deren Dazwischentreten gerade die Reflexe gehemmt statt begünstigt werden.

c) Rücksichtlich des Einflusses der Seelenthätigkeiten auf die reflektorischen Apparate ist es vielleicht von Wichtigkeit sich zu erinnern, dass bei einer nachlässigen Haltung des Geistes Empfindung und Reflexbewegung von einer und derselben beschränkt wirkenden Erregung (z. B. einem Nadelstich) veranlasst werden; hieraus scheint fast gefolgert werden zu können, dass die willkürliche Reflexhemmung nicht geschieht, weil durch gewisse Seelenvorgänge die Leitung der Erregung nach der Länge der sensiblen Röhren begünstigt wird, und somit die nach jeder andern Seite geschwächt, sondern vielmehr dadurch, dass der übertragende oder der angestossene Apparat, d. h. die Zwischenglieder zwischen sensiblen und motorischen Röhren oder diese letztern selbst, durch die Aufmerksamkeit mit einem gewissen Widerstandsvermögen ausgerüstet werden.

Die Bedeutung, welche die Reflexerregung für den Organismus gewinnt, zeigt sich darin, dass durch dieselbe unabhängig vom

Willen und dem Bewusstsein eine grosse Zahl sehr wohlberechneter Bewegungen ausgeführt werden, deren regelmässige Wiederkehr für die normale Funktion vieler wichtiger Organe unumgänglich nothwendig ist; und dann darin, dass die stetigen Erregungen sensibler Nerven, welche nicht alle gleichzeitig von der Seele aufgenommen werden können, schon im Rückenmark innerhalb der motorischen Parthieen stetige Spannungen und Erregungen herbeiführen. —

Unter die Bewegungen, welche in Folge der Reflexe am Rumpf sehr regelmässig ausgeführt werden, zählt man: Athembewegung, Husten, Koth- und Harnentleerung; bei der eigenthümlichen Stellung der Seele zum Organismus, vermöge deren sie in langen Zeiträumen überhaupt nicht auf Bewegungsorgane wirkt (wie im Schlaf) oder nach welcher sie, wenn sie in wirksamer Beziehung zum Organismus steht, nur ein Bewegungsorgan gleichzeitig anzuregen im Stande ist, würden ohne Hülfe der Reflexe die Athembewegungen u. s. w. die beträchtlichsten Störungen erleiden, oder die Seele zum blossen Diener vegetativer Prozesse herabsinken. Noch mehr: es würde wahrscheinlich das Leben des Neugeborenen (vorausgesetzt, dass die thierische Organisation sich in den uns bekannten Schranken bewegte) in der grössten Gefahr schweben, wenn er die complizirten Muskelfunktionen, die wir erwähnten, erst mühsam erlernen müsste. —

Wie wichtig fernerhin die stetigen in das Rückenmark eindringenden Erregungen für das sichere Erscheinen selbst willkürlicher Muskelfunktionen sind, geht daraus hervor, dass das Gehen z. B. ausserordentlich beeinträchtigt wird, wenn die hintern Stränge des Rückenmarks in ausgebreiteter Weise leiden. Obgleich dann alle Gehbewegungen noch willkürlich ausgeführt werden können, so erhält doch der Gang etwas unsicheres und schwankendes. Man hat somit nicht ohne Schein der Wahrheit die Vermuthung ausgesprochen, dass zur Erhaltung des Gleichgewichtes unseres Rumpfes die grossen Mengen sensibler Fasern, die sich in der Fusssohle verbreiten von Einfluss seien.

B. Mittheilung der Erregung von motorischen Röhren auf motorische. Mitbewegung *). Nach einer verbreiteten Annahme sollen auch die in einem motorischen Nervenrohr des Rückenmarks erweckten Erregungen auf die nebenliegenden motorischen übertreten können, mit andern Worten, es soll auch Querleitung bestehen zwischen den Elementen der Vorderstränge des Rückenmarks. Eine sorgfältige Zergliederung der Thatsachen führt aber keineswegs zu der Ueberzeugung, dass diese Art der Erregungsmittheilung besteht. — Man zählt zu den die Mitbewegung beweisenden, resp. sie widerlegenden Thatsachen, folgende: 1. Neben einer vom Willen beabsichtigten Bewegung tritt eine andere nicht beabsichtigte in willkürlich beweglichen Muskeln auf, z. B. einer beabsichtigten Bewegung eines Fingers folgt gleichzeitig die mehrerer anderer u. s. w. Man hat längst versucht diese Art von Mitbewegung aus einer Ungeschicklichkeit der Seele zu erklären, in Folge deren sie vollkommen oder nahebei gleichzeitig neben den wirklich beabsichtigten auch noch andere nicht beabsichtigte Bewegungen einleitet. Der Werth dieser letztern Erklärung ist um so

*) Müller l. c. I. p. 587 u. II. 85. Henle ration. Pathol. I. 205 u. f.

einleuchtender, als es in der That durch Uebung gelingt, Bewegungen, die der Wille früher immer gemeinsam ausführte, voneinander zu sondern. 2. An das Eintreten einer unwillkürlichen Bewegung knüpft sich häufig eine andere unwillkürliche, ohne dass es gelänge nachzuweisen, es habe auf beide bewegte Theile gleichzeitig eine gesonderte Erregungsursache gewirkt. Diese Erscheinung beobachtet man namentlich öfter bei Hemiplegischen, d. h. bei solchen Individuen, deren eine Körperhälfte durch Blutergüsse in das Hirn dem Willenseinfluss entzogen ist; bei diesen Kranken begleitet öfter das Gähnen, Niessen, Husten die Bewegung eines Beins oder Arms an der dem Willen nicht mehr untergebenen Seite. Begreiflich würden diese Thatsachen aber nur dann für Mitbewegung sprechen, wenn man darzuthun vermöchte, dass die das Gähnen u. s. w. veranlassende Ursache nur auf den motorischen Nerven des Kiefers u. s. w. wirkte; denn verbreitet sich die Erregung auch in sensible Nerven, so ist es erlaubt den vorliegenden Fall auch unter die Reflexe zu subsummiren, umsomehr als Glieder, die dem Seeleneinfluss nicht mehr gehorchen, zu Reflexen geneigt sind. 3. Anscheinend viel beweisender sind die Fälle, wo auf eine vom Willen ausgehende Bewegung auch andere normal oder abnorm unwillkürlich bewegliche Muskeln in Thätigkeit kommen. So erscheinen z. B. bei Hemiplegischen in Folge von willkürlichen Bewegungen der nicht gelähmten Glieder gleichzeitig Bewegungen in der gelähmten, dem Willen vollkommen entzogenen Körperhälfte. Einige den erwähnten sehr analogen Beobachtungen aus dem normalen Leben werden wir bei der Betrachtung der Hirnfunktionen noch vorführen. — An diese Beobachtungen schliessen sich dann noch mehrere (weniger zuverlässige?) Ergebnisse der Versuche beim Säugethier an; in diesen werden, nachdem die Durchschneidung einer seitl. Rückenmarkshälfte in ihren obern an das verlängerte Mark grenzenden Theilen eine Lähmung der entsprechenden Körperhälfte herbeigeführt hatte, die Glieder der gelähmten Seite bei energischen Bewegungen der entsprechenden Abtheilungen der anderen nicht gelähmten Hälfte mitbewegt. Diese letzteren Thatsachen würden unzweifelhaft das Gesetz der Mitbewegung im oben ausgesprochenen Sinne beweisen, wenn unsere Vorstellungen vom Gang der durch die Willenseinflüsse herbeigeführten Erregungen zweifellos feststänben, und wenn wir den nur einseitigen Verlauf der Bewegungsfasern durch das Rückenmark des Säugethiers mit derselben Bestimmtheit behaupten könnten wie wir ihn beim Frosch zu verneinen vermögen. Wer gibt uns die Gewissheit, dass der Willen ohne alle Zwischenorgane die Enden der motorischen Primitivröhren anregt? und wenn in der That solche Zwischenorgane vorhanden, wie ändern sie sich bei sog. einseitigen Lähmungen? Man würde aber diese scheinbar zur Seite liegenden Fragen nicht aufwerfen, wenn nicht 4. durch eine überwiegende Zahl von Beobachtungen

gerade Erscheinungen zu Tage gefördert worden wären, die sich mit der Theorie der Mitbewegungen in Folge sog. Querleitung in keiner Weise vereinigen lassen. Zu diesen zählen wir dass nach einseitigen Durchschneidungen des Rückenmarks in sehr zahlreichen Fällen bei Säugethieren keine Mitbewegungen in Folge des Willenseinflusses beobachtet sind, und dass nach vorsichtiger Erregung eines Vorderstrangs auf seinem Querschnitt nur eine Bewegung in den zum erregten Strang gehörigen, und noch von ihm abwärts versorgten Muskeln eintritt. — Der Erfolg dieses letzten Versuchs und zwar namentlich die Abwesenheit der Bewegung in den Gliedmassen der nicht direct erregten Hälfte, in Verbindung mit der Thatsache, dass an solchen Stümpfen noch mit Leichtigkeit eine nach allen Seiten hin sich verbreitende Reflexerregung von den hintern Strängen hervorgerufen werden kann, macht es einleuchtend, dass wenn (was noch zu bestreiten ist) in der That eine sog. Mitbewegung stattfindet, diese auf ganz andern Bedingungen beruhen muss, als die Reflexerregung, mit andern Worten, dass sie einen von diesen verschiedenen Prozess vorstellt. —

C. Uebertragung der Erregung von sensiblen auf sensible Nerven. Mitempfindung. — Man hat fernerhin auch der Vorstellung gehuldigt, dass eine in die hintern Stränge eintretende partielle Erregung sich auf andere ursprünglich nicht erregte sensible Theile auszubreiten vermöge und dadurch die Erscheinung der Mitempfindung veranlasse. Es kann nicht geleugnet werden, dass ziemlich constant mit Erregung gewisser Hautstellen auch Empfindungen in nicht erregten sensiblen Regionen auftreten; ob diese aber durch einfache Uebertragung der Erregung zwischen den constituirenden Bestandtheilen der hintern Stränge entsteht oder auf einem complicirteren Wege, ist aus den Beobachtungen nicht ersichtlich, ja meistens nicht einmal wahrscheinlich.

Offenbar muss von den Beweissmitteln für Mitempfindung die ganze Reihe von Erscheinungen ausgeschieden werden, bei welchen die sog. Mitempfindung in sensiblen Flächen auftritt, die gleichzeitig mit einem Muskelapparat, dessen Bewegung selbst Empfindungen anregt, versehen sind; denn wenn nach einer sanften Berührung der Nackenhaut eine eigenthümliche Empfindung über die Haut des Rückens, der Schulter und der unteren Extremitäten eingeleitet wird, so kann diess sich als eine Folge von einer reflektorischen Bewegung der Muskeln in den Drüsen und Haarbälgen (die sog. Gänsehaut) darstellen; ebenso die Empfindung des Hustenreizes, resp. der Husten selbst, welcher bei Berührung der Verzweigungen des ram. auric. vagi eintritt u. s. w. — Scheidet man diese Beobachtungen aus, so bleiben nur einzelne Thatsachen übrig, die zudem nicht einmal von allen gesunden Menschen empfunden werden; hierhergehören z. B. Schmerzen in der Schulter bei Gegenwart schmerzhafter Blähungen im Darmkanal, Erscheinungen, die so complizirter Natur zu sein scheinen, dass es mindestens sehr gewagt ist, aus ihnen den bezeichneten Schluss zu ziehen. — Die Beobachtungen, welche man am Krankenbette als sog. Beweisse für die Mitempfindung gefunden zu haben glaubt, sind noch problematischer. Dahin gehören vorzugsweise die Ausbreitungen schmerzhafter Empfindungen nach schweren Verletzungen und Neuralgien; Zustände, bei denen man trotz naheliegender Aufforderungen nicht einmal den Versuch gemacht nach andern Ursachen der Schmerzensausbreitung zu

suchen. Hält man solchen vagen Thatsachen die Erscheinung gegenüber, dass jeder gesunde Mensch in tausend unbeobachteten zum Entstehen der Reflexbewegungen geschickten Augenblicken eine eindringende Erregung nur ganz örtlich fühlt, dass also in den der Querleitung günstigen Zuständen des Rückenmarks die Mitempfindungen dennoch nicht auftreten, so möchte man sehr geneigt sein, diese Lehre in der bezeichneten Form ganz abzuweisen.

D. Uebertragung der Erregung von motorischen auf sensible Röhren. Reflexempfindung.*) Mit dem Namen der Reflexempfindung führte man endlich noch eine vierte Art Querleitung in die Wissenschaft ein; nach dieser Hypothese sollen auch die motorischen Rückenmarksröhren ihre Erregungszustände auf die sensiblen Fasern übertragen; mit andern Worten bei der Reflexempfindung soll die Mittheilung der Erregung zwischen den Röhrenelementen des Rückenmarks auf demselben Wege aber in umgekehrter Richtung möglich sein, auf dem sie bei der Reflexbewegung geschieht. Der Beweis ihres Bestehens ist abgesehen von allen andern Folgen schon des Mechanismus der Reflexbewegung wegen von ausserordentlicher Wichtigkeit. Er ist in der That aber so wenig geführt, dass selbst die Anhänger der Hypothese von Mitempfindung und Mitbewegung sich gegen die Annahme einer Reflexempfindung aussprechen.

Die Thatsachen, aus welchen man die Reflexempfindung erschloss, sind. a. Nach Durchschneidung der Sehne eines Jahre lang verkürzten Muskels entsteht das eigenthümliche Gefühl eingeschlafener Glieder, obwohl durch die Operation kein Nerv verletzt wurde. Man interpretirt dieses Gefühl des Eingeschlafenseins dahin, dass der Nerv des dauernd contrahirten Muskels seine Erregung im Rückenmark auf die sensiblen Nerven übertragen habe, im Moment der Durchschneidung der Sehne werde nun zugleich der motorische Nerv aus dem Zustand der Erregung in den der Abspannung versetzt und damit auch die Reflexerregung des sensiblen Nerven aufgehoben. Diese Erscheinung, welche nicht constant beobachtet wurde, erläutert sich mindestens ebenso einfach dadurch, dass die Nerven eines Gliedes, das nach Durchschneidung der verkürzten Sehne in eine andere Lage gebracht wird, einer Zerrung unterworfen oder aus einer bisher vorhandenen gezerrten Stellung wieder befreit werden. Gesetzt aber, es sei auch diese Erklärung für die Erscheinung unbrauchbar, so müsste, ehe die obige gelten sollte, erst noch gezeigt werden, dass ein Muskel, resp. ein Nerv sich Jahre lang im Zustand der Erregung befinden kann, ohne zu ermüden; ferner dass die Durchschneidung seiner Sehne den Muskel unfähig zur Contraktion macht, obgleich ausserhalb des Organismus ein Muskel noch in Bewegung versetzt werden kann und Muskeln der Amputationsstümpfe sich weit zurückziehen oder erschlaffen, je nach Umständen; und endlich, dass wenn ein Muskel unfähig zur Contraktion sei, in seinen zugehörigen Nerven kein Erregungszustand mehr bestehen könne u. s. f. — b. Bei Verkrümmungen der Glieder in Folge von Muskelverkürzungen findet sich häufig ein heftiger Schmerz an einem Theile des verkrümmten Gliedes, ohne dass der diesen Theil versorgende sensible Nerv gedrückt ist(?). Nach Durchschneidung der Sehne des verkürzten Muskels hebt sich der Schmerz. Nach der eben gegebenen Auseinandersetzung bedarf diese Thatsache keiner weiteren Beleuchtung — c. Man bringt ferner das Gefühl der Anstrengung, welches während

*) Stromeyer de combinatione actionis nervorum et motoriorum et sensoriorum. Erl. 1839. — Valentin, Lehrbuch der Physiologie. II. b. 492. — Volkmann, Nervenphysiologie Wagners Handwört. II. ß. 530. — Heule, rationelle Pathologie l. c.

oder nach einer kräftigen Muskelwirkung beobachtet wird, in Verbindung mit unserer Hypothese; da es nun aber feststeht, dass in die Muskeln sensible Nervenfasern eingehen, so ist es mindestens wahrscheinlicher, dass das Gefühl von ihnen abhängig sei, um so mehr, als sich beim Beginn der Muskelkontraktion die Empfindung nur über den verkürzten Muskel erstreckt und erst später, vielleicht in Folge einer Veränderung des Blutlaufes oder der Spannungen und Drücke auf den anliegenden Nerven oder dergl. andere Gefühle hinzutreten.

Gegen diese wenigen und noch dazu so wenig beweisenden Thatsachen erhebt sich nun aber die allbekannte Erfahrung, dass wir tausendmal Bewegungen bei unvollkommener Selbstbeherrschung ausführen, ohne die geringste sie begleitende Empfindung. Wer möchte es da noch über sich nehmen, die Hypothese von den Reflexempfindungen zu vertheidigen?

Gesetzt aber, es bestehe auch der Vorgang der Reflexempfindung, so würde ihr Auftreten doch jedenfalls zu den Seltenheiten gehören, und darum sich mindestens der Ausspruch rechtfertigen, dass die Erregungsmittheilung zwischen denselben Röhren nach einer Richtung (von hinten nach vorn) viel leichter geschehe, als nach der andern (von vorn nach hinten). Diese Erscheinung macht uns mehr als Alles darauf aufmerksam, dass die Querleitungserscheinungen nicht aus allgemeinen Eigenschaften der Nervenröhren, sondern aus besonderen Veranstaltungen z. B. ihrer Lagerung u. s. f. abzuleiten seien.

Diese besondern Einrichtungen müssten in reichlichem Maasse vorhanden sein, wenn sich die anatomische Beobachtung feststellen würde, dass ein intermediäres System von Röhren bestünde, welches die innerhalb des Rückenmarks in ihrer Continuität unterbrochenen sensiblen und willkürlich bewegenden Nervenwurzeln mit dem Hirn verbindet; damit würde zugleich die Nothwendigkeit der Annahme gesetzt, dass die Verbindungsstellen intermediärer- und Wurzelröhren eine Einrichtung besässen, wonach nicht allein eine gegenseitige Mittheilung der Erregungszustände möglich wäre, sondern wodurch es auch bewirkt würde, dass die zwischen beiden Systemen stattfindenden Beziehungen räumlich begrenzt würden. Mit andern Worten, es müsste die von einzelnen Wurzelröhren in das Rückenmark getragene Erregung nur auf einzelne und zwar ganz bestimmte intermediäre Röhren und umgekehrt übergehen, weil sonst die in gewissen Grenzen isolirte Willens- und Empfindungserregung nicht möglich wäre. — Eine solche Anordnung würde schon nach unsern gegenwärtigen Einsichten keine unübersteigliche Schwierigkeit haben; es fehlt uns aber vorerst noch jede Art des Nachweises derselben.

4. Besondere Gruppirung der Nervenröhren im Rükkenmark *). Die motorischen Fasern des Rückenmarks sollen sowohl unter sich als mit den sensiblen Röhren zu mannigfaltigen Gruppen geordnet sein, der Art, dass bei Erregung einer oder

*) Kürschner in der Uebersetzung von Marshall Hall's Abhandlung über Reflexbewegung. Marburg 1840. — Volkmann, Artikel Nervenphysiologie. — Todd and Bowmann, physiologie and physiological anatomy I. 320 u. f.

mehrerer in eine solche Gruppe eintretender Röhren, alle andere zugehörige in Erregung gerathen. Man erschliesst diese Construction der motorischen Abtheilungen des Rückenmarks aus den Bewegungen, welche nach Reflexerregung und directer Erregung der vorderen Stränge auftreten, indem hier nach beschränkten primären Erregungen verbreitete und geordnete Bewegungen hervortreten, und sucht Unterstützungsmittel für diese Hypothese aus den bis jetzt vorliegenden anatomischen Untersuchungen des R. M. (?). — Ueber die besondere Verbindung der einzelnen Glieder zu Gruppen ist nichts bekannt.

5. Eigenthümliche Erregbarkeit des Rückenmarks. Im Allgemeinen stimmen die Erregbarkeitserscheinungen, welche die Elementartheile des Rückenmarkes darbieten, sehr überein mit denjenigen, welche wir als den Nervenröhren eigenthümlich beschrieben haben; dennoch weichen sie in einigen Puncten immerhin so beträchtlich von einander ab, dass man auf eine besondere Anordnung der kleinsten Theilchen in den anatomischen Elementen des Rückenmarks schliessen darf.

A. Gewisse Umstände vermögen die nervösen Elementartheile und namentlich die Nervenröhren des Rückenmarks noch in Erregung zu versetzen, welche sich gegen die in den Nerven (ausserhalb des Rückenmarks) enthaltenen Elementartheile unwirksam erweisen.

a. Strychninkrämpfe *). Durchtränkt man das lebende mit seinen peripherischen Theilen (Nerven und Muskeln) in Verbindung stehende Rückenmark mit einer Lösung von Strychnin oder Strychninsalzen, so gerathen mit dem Beginne der Einverleibung sämmtliche Rumpf- und Gliedermuskeln in gleichzeitige und gleichstarke Zusammenziehungen. Tonischer Krampf. Für die Stellung, die ein Glied unter diesen Voraussetzungen einnimmt, folgt begreiflich, dass sie jedesmal diejenige ist, welche ihm die an Kraft überwiegenden Muskeln zu geben vermögen, so dass z. B. wenn die Strecker eines Gliedes kräftiger sind als die Beuger, dieses in dem Krampfanfall gestreckt wird, eine Streckung, die sich aber sogleich in eine Beugung umwandelt, wenn man die Sehnen des Extensoren durchschneidet. Diese Krämpfe lassen nun aber während der fortschreitenden Vergiftung nach, um sich nach einer gewissen Zeit von neuem einzustellen. Alles andere gleichgesetzt ist aber die Dauer der Anfälle im Wachsen begriffen mit der Stärke der Vergiftung, während umgekehrt die Dauer der zwischen den Anfällen liegenden Zeit mit ihr abnimmt; mit andern Worten, bei steigender Vergiftung kehren heftigere und anhaltendere Anfälle in kurz aufeinander folgenden Zeiten wieder, bis in einem derselben der Tod erfolgt.

*) Stannius, Müllers Archiv 1837 u. 1852. — Stilling, Untersuchungen über die Funktion des Rückenmarks. — Valentin, Lehrbuch der Physiologie. 2. Aufl. II. Bd. 6. — H. Meyer, Ueber die Natur des durch Strychnin erzeugten Tetanus. Henle u. Pfeufer Bd. V. 257. —

Der Beweis dafür, dass das Gift nur mittelst des Rückenmarkes den tonischen Krampf hervorruft, liegt einfach darin, dass man wohl durch örtliche Anwendung auf das Rückenmark eines Thieres (dessen Blutlauf durch das Ausschneiden des Herzens unterbrochen ist) die Krämpfe erwecken kann, niemals aber durch Eintauchen des Nerven in die Giftlösung, und ferner, dass niemals die Glieder eines sonst unversehrten vergifteten Thieres in den Krampf gerathen, deren motorische Nerven vom Rückenmark getrennt sind.

Es erhebt sich aber nun die Frage, auf welchen Theil das Gift vorzugsweise seine Wirkung übt, ob auf motorische, ob auf sensible Nerven, oder auf den beide zur Reflexbewegung verknüpfenden hypothetischen Apparat z.B. die Ganglienkörper. Hier kann nach Stannius und Meyer mit Sicherheit behauptet werden, dass das Gift nicht unmittelbar als Erreger der motorischen Nerven wirke, sondern die Krämpfe durch Steigerung des reflectorischen Vermögens erzeuge, denn 1. Alles andere gleichgesetzt, treten die Krämpfe um so seltener hervor, d. h. das Thier stirbt, ohne in auffallende Krämpfe zu gerathen, ab, je weniger es während der Vergiftung Einflüssen ausgesetzt war, welche Reflexbewegung erzeugen. Demnach werden die Krämpfe vermindert, nach Durchschneidung aller sensiblen Nervenwurzeln und umgekehrt vermehrt, resp. jedesmal hervorgerufen, wenn man die Haut des vergifteten, aber sonst unversehrten Thieres kneipt oder anderweitig erregt. 2. Das reflektorische Vermögen des Thieres in der Vergiftung ist ausserordentlich gesteigert, indem schon nach den sanftesten Berührungen die heftigsten und allgemeinsten Zusammenziehungen eintreten. 3. Die Beziehung zwischen Strychninvergiftung und reflektorischen Vermögen macht sich auch dadurch geltend, dass bei ersterer die normalen Formen der Bewegung wesentlich geändert werden, indem auf Berührung einer bestimmten Hautstelle sich die Bewegung nicht auf die Muskeln beschränkt, welche in reflektorischer Beziehung zu ihr stehen, sondern sich auch weiter verbreitet und namentlich, dass statt des im normalen Zustand eintretenden Wechsels der Bewegung unter den ergriffenen Muskeln eine gleichzeitige Bewegung aller ergriffenen eintritt. 4. Endlich ist es bemerkenswerth, dass das erste Symptom des durch Strychnin herbeigeführten Todes darin besteht, dass das Thier sein reflektorisches Vermögen schon eingebüsst hat, während seine motorischen Nerven noch erregbar sind, so dass also auf directe Erregung der motorischen Nerven noch Zuckungen erfolgen, während sie von den sensiblen Nerven aus nicht mehr zu erwecken sind.

Die Versuche von Stannius verdienen mannigfaltige Abänderungen, sie versprechen, mit Umsicht angestellt, noch sehr bemerkenswerthe Aufschlüsse.

Zur Beobachtung der Erscheinungen von Strychninvergiftung eignet sich am besten der Frosch. Die Vergiftung kann entweder vorgenommen werden durch unmittelbare Anwendung der Lösung von essig- oder salpetersaurem Strychnin auf das

blosgelegte Rückenmark eines herzlosen Thieres, oder durch Einbringen der Lösung in den Blutlauf, indem man einige Tropfen der Lösung in den Magen oder in einen Schnitt unter die Haut bringt. — Die Erscheinungen treten um so intensiver hervor, je lebenskräftiger das vergiftete Thier war und je genauer man die Dosis getroffen, welche gerade hinreicht, um das Thier zu tödten.

Von Bedeutung für die Aufhellung der Rückenmarksfunktionen dürften auch die Vergiftungserscheinungen werden, welche Opium, Upas, Blausäure u. s. w. erzeugen.

b. Tonus *). Nach einer allgemeinen Annahme sollen alle mit dem Rückenmark noch in Verbindung stehenden Nerven in einem dauernden, wenn auch niedern Grad von Erregung erhalten werden. Wenn diese Annahme sich auf vollkommen sichere Thatsachen stützte, so würde daraus folgen, dass im Rückenmark entweder die gewöhnlichen Lebensbedingungen (Blutlauf, Anwesenheit sauerstoffhaltiger Flüssigkeiten u. s. w.) schon als Erregungsmittel wirkten, oder dass neue und besonders erregende Ursachen dort vorhanden seien. Die Thatsachen zwingen aber zu dieser Annahme vorerst noch keineswegs.

Die Vertheidiger des Tonus führen für diesen an: 1. Wenn im lebenden Thier die Sehne eines Muskels durchschnitten wird, dessen Nerv noch mit dem Rückenmark in Verbindung steht, so ziehen sich die Schnittenden der Sehne auseinander. Man darf diese Erscheinung aber mit vollkommenem Rechte für eine Folge elastischer Spannung ansehen, weil sie sich auch ereignet nach Zerstörung des Rückenmarks, bevor die Todtenstarre im Muskel eingetreten. Ed. Weber. — 2. Ein geköpfter Frosch nimmt, so lange sein Rückenmark lebenskräftig ist, immer eine sitzende Stellung an, und behauptet dieselbe trotz aller Versuche, ihn daraus zu verdrängen; diese Beobachtung beweist aber nicht, dass der Frosch in dieser Stellung seinen Muskeln eine dauernde Zusammenziehung ertheilt. Dass dieses letztere in Wahrheit nicht geschieht, geht daraus hervor, dass wenn alle Nerven des Schenkels in ein gleichmässige Spannung versetzt würden, ein gestreckte und nicht eine gebeugte Lage des Gliedes erzeugt würde; ferner ergibt sich der Mangel an dauernder Erregung auch daraus, dass der Rumpf auf dem angezogenen Schenkel nicht getragen wird, sondern platt auf der jeweiligen Unterlage liegt; diese Lage nimmt ferner der Frosch nur in horizontaler Stellung des Rumpfs und der Glieder an, denn wenn man den Frosch an seinem Vordertheil aufhängt, so zieht er wohl dann und wann einmal die Schenkel an, meist aber hängen sie, der Schwere entsprechend, herab, vorausgesetzt, dass man die Haut abgetrocknet hat, so dass die feuchten Flächen nicht verkleben können; ferner müsste in Folge des Tonus nach Durchschneidung der Schenkelbeuger das Glied in stetig gestreckter Lage verharren, was nicht der Fall. Der Grund des Anziehens liegt offenbar nur in Reflexbewegungen, denn der Schenkel bleibt in jeder beliebigen Lage, wenn man alle hintern Wurzeln eines Rückenmarkes abgetrennt hat; und der Grund des Verharrens in der Beugung besteht einfach darin, dass der Schenkel durch keine neue Muskelbewegung oder anderweitige Ursache aus ihr gedrängt wird. Zudem würde der Tonus nur für das Froschrückenmark gelten, da sich ähnliches nicht bei Hunden und andern Säugethieren, deren Rückenmark vom Hirn getrennt ist, findet. — 3. Die Bauchmuskeln eines geköpften Frosches sollen sich noch so spannen, dass der Unterleib seine runde Form erhält? In welcher Lage befand sich das Thier während der Beobachtung? — 4. Der m. sphincter ani einer geköpften Schildkröte soll noch so fest geschlossen bleiben, dass die in

*) Henle, Allgemeine Anatomie. Leipzig 1840. 727.

ihren Mastdarm eingebrachten Flüssigkeiten nicht aus ihm ausfliessen. Dann aber verhält sich der Afterschliesser ganz anders als der des Menschen, da nach Verletzungen in Hals- und Brusttheilen des Rückenmarkes (also nach Abtrennung des Lendenmarkes vom Hirn) der Afterschliesser vollkommen erschlafft, so dass der Koth unwillkürlich abgeht.

Bringt man nun schliesslich in Erwägung, dass die Muskeln und Nerven auch die geringste Anstrengung nicht ertragen, vorausgesetzt, dass sie eine dauernde ist, so wird man mit Recht fragen, welche Hilfsmittel sie besitzen, um unter dem tonischen Vermögen des Rückenmarks nicht zu ermüden?

B. Die durch das Rückenmark tretenden Wurzelröhren, resp. ihre Fortsetzung im intermediären System, müssen auf dem Verlauf durch das Rückenmark an ganz constanten Orten ihres Wegs mit einem geringern Grade von Erregbarkeit begabt sein, als an andern*).

Diese Annahme sind wir nämlich zu machen genöthigt, wenn sich die Beobachtung bestätigen sollte, wonach eine den Gesammtquerschnitt des Rückenmarks gleich heftig treffende Erregung eine verschiedene Stellung der hinteren und vorderen Extremitäten erzeugt, je nachdem der erregte Querschnitt näher oder entfernter vom Hirn gewählt war. Wenn, wie die anatomischen und physiologischen Beobachtungen beweissen, die Wurzelröhren durch das Rückenmark aufwärts zum Hirn dringen (wobei es begreiflich gleichgiltig erscheint, ob sie vollkommen ununterbrochen oder an einer Stelle unterbrochen verlaufen) so muss eine Erregung jedes Querschnittes, vorausgesetzt, dass dieser schon alle zu einer Extremität gehörenden Nervenwurzeln gefasst hat und alle Nervenröhren überall gleich erregbar sind, immer dieselben Erfolge für die Stellung einer Extremität herbeiführen. Dieses soll aber nicht eintreffen, indem Erregung eines Querschnittes in einer den unteren Rückenmarksenden nähern Gegend, Streckung, in einer höheren Beugung erzeugt; wenn in der That das Erregungsmittel alle Nerven in den verschiedenen Versuchen gleich stark getroffen hat, so würde das nichts anderes bedeuten können als: im Lendenmark überwiegt die Erregbarkeit der Streknerven und im Halsmark die der Beugenerven.

C. Im Rückenmark gibt es Stellen, welche trotzdem, dass sie nervöse Elemente enthalten, dennoch unter dem Angriff der gewöhnlichen Erreger gar keine sichtbare Erregungserscheinung veranlassen**). Nach Angabe der bessern Beobachter zählt hierzu übereinstimmend die allernächste Umgebung des sogen. Centralkanals, obwohl hier nicht allein Ganglienkugeln (kleine Art. Kölliker), sondern auch, wenn gleich sparsam, Nervenröhren vorkommen.

D. Das Zeitverhältniss ***), welches zwischen der Einwirkungsdauer eines erregenden Einflusses und der durch ihn erzeugten Erregung besteht, gestaltet sich im Rückenmark anders, als in den Nerven; in diesen letztern kommt und vergeht annähernd gleichzeitig mit dem Erregungsmittel die Erregung, während in ersterm die Erregung gewöhnlich die Anwesenheit des Erregungsmittels lange überdauert; die Nachwirkungen des erregenden Mittels sind mit einem Worte im

*) Engelhard, Müllers Archiv 1841. — Harless ibid. 1845. — Siehe auch Budge, Untersuchungen über das Nervensystem. — Volkmann, Müllers Archiv 1845.

**) Siehe bei Kürschner und Eigenbrodt.

***) Volkmann, Beitrag zur nähern Kenntniss der motorischen Nervenwirkungen. Müllers Archiv 1845.

Rückenmark beträchtlicher. Dieses Ueberdauern der Erregung über das Erregungsmittel tritt ein, mag man dieses letztere geradezu auf das Mark oder durch den sensiblen Nerven hindurch (reflektorisch) angewendet haben. — Am überraschendsten gestaltet sich diese Nachwirkung, wenn sie sich rhythmisch einstellt, d. h. ihr Bestehen von Zeiträumen, in denen sie fehlt, unterbrochen wird. So hinterlässt z. B. ein Druck auf das Rückenmark auch nach seiner Entfernung häufig wechselnd gesteigerte und nachlassende Bewegungen der Hinterbeine, so dass in der Stärke der zurückbleibenden Erregung sich gleichsam Wellenbewegungen sichtbar machen.

E. Die Verschiedenheit der innern Zustände in den nervösen Elementartheilen des Markes von den gleichen der Nervenstämme macht sich nun endlich auch noch durch zwei andere Erscheinungen geltend, die uns aber nur andeutungsweise bekannt sind. — Zuerst nämlich soll sich die Erregbarkeit des motorischen Nerven unter dem Einfluss constanter elektrischer Ströme ganz anders gestalten, wenn der Nerv noch in Verbindung mit dem Rückenmark ist, als dann wenn er aus dieser Verbindung gelöst wurde. Siehe hierüber den verkürzten Muskel; Veränderungen der Erregbarkeit durch den elektrischen Strom. — Zweitens aber sollen nach dem Aufhören des Blutlaufs die im Rückenmark befindlichen Nervenröhren theils rascher, theils langsamer absterben als die in den Nerven enthaltenen; die sensiblen Nerven sollen nämlich früher ihre Lebenseigenschaften einbüssen, als die hintern Stränge, Longet, und die motorischen Nerven später als die motorischen Stränge, Valli, Ritter, so dass in dem sensiblen Gebilde der Tod auf — und in dem motorischen absteigt. Diese letzte Thatsache ist begreiflich nur aus ursprünglicher Abweichung der Widerstandsfähigkeit in den verschiedenen Nervenröhren gegen die Todeseinflüsse abzuleiten.

B. *Hirn und Hirnnerven.*

1. Ausbreitungsbezirke und Funktionen der Hirnnerven.

Die Hirnnerven betheiligen sich nicht allein an den Vorgängen, welche Muskelbewegung, Absonderung und Gefühlsempfindung bedingen, sondern auch an der Licht-, Ton-, Geruchs- und Geschmacksempfindung.

Nerv. olfactorius*).

Die nervösen Elemente des n. olfactorius sind eigenthümliche, blasse, kernhaltige, platte, marklose Röhren (oder Fasern?), welche sich hirnaufwärts nicht weiter als in den sogenannten Riechkolben

*) Todd and Bowmann physiological anatomy and physiology III. p. 9.

verfolgen lassen. — Innerhalb der Nase verbreiten sich seine Fasern, so weit bekannt, nur auf die convexe Fläche der beiden obern Nasenmuscheln und den obern Theil der Scheidewand.

Nach seiner Verletzung beim Menschen ist der Geruch volikommen zerstört, man darf ihn demnach für den einzigen Geruchsnerven ansprechen. Zudem scheint er auch ausschliesslich Geruchsnerv zu sein, da seine Verletzung bei Thieren keine Schmerzensäusserungen hervorruft.

Nervus opticus*).

Der Tractus und N. opticus bis zur Retina setzen sich aus feinen Nervenröhren zusammen; in seiner Ausbreitung als Retina finden sich Nuclearmassen und verzweigte Nervenzellen an die Nervenröhren abgelagert. Der Ursprung des Tractus kann bis in die Vierhügel, das corpus geniculatum externum und den Sehhügel verfolgt werden, auf seinem weiteren Verlauf legt er sich innigst an den Grosshirnstamm, das tuber cinereum und die lamina terminalis an; ob er von diesen Gebilden Röhren aufnimmt, ist zweifelhaft. Im sogenannten chiasma findet eine theilweise Kreuzung der Nervenröhren statt, der Art, dass die nach aussen gelegenen jedes Tractus zum gleichseitigen, die inneren eines jeden dagegen in den entgegengesetzt liegenden Nervenstamm treten. Ausserdem laufen an der vordern und hintern Kante des Chiasma Commissurenfasern. Jeder N. opticus trägt demgemäss in beiden Augen zur Bildung der Retina bei.

Die Verletzung des Sehnerven bedingt vollkommene Blindheit; die Durchschneidung des Stammes oder eine mechanische Verletzung der Ausbreitung erzeugt beim Menschen keine Schmerzempfindungen.

Die Einsenkung und Kreuzung des Sehstreifens bis in die bezeichneten Stellen wird ausser der anatomischen Präparation durch pathologische Fälle constatirt, in welchen ein Schwinden des N. opticus in Folge einer Zerstörung der Retina eingetreten war; in ihnen findet sich, wenn die Verkümmerung über das Chiasma hinaus bis in den Sehstreifen sich erstreckt, entweder der gleich- oder der gegenseitige oder auch die beiden Streifen verändert. Diese wechselnd vorkommenden Resultate lassen sich nur aus obiger Hypothese erläutern, wenn sie noch den Zusatz erfährt, dass ein alle Röhren des Nerven vor dem Chiasma treffender pathologischer Zustand sich nicht gleichmässig durch das Chiasma hindurchzuerstrecken braucht. In einzelnen Fällen auffallenden Schwindens kann man die eingesunkenen Massen bis in die bezeichneten Hirnstellen verfolgen. — Die relative Menge der gekreutzten und nicht gekreutzten Röhren fällt bei verschiedenen Thieren (wahrscheinlich je nach der Angenstellung) sehr verschieden aus, weshalb die vergleichend anatomischen Thatsachen zu keinem Schluss für die menschliche Anatomie berechtigen. Ob die am hintern Rand gelegene Commissur des Chiasma in Beziehung zum Sehnerven steht, kann aus vergleichend anatomischen Gründen bezweifelt werden. S. Todd und Bowmann loc. citat.

*) Longet, Anatomie et Physiologie du Système etc. II. 50. — Todd and Bowmann l. c. 39. Foville, Anatomie du système cerebrospinal I. p. 510. — Brücke, das Auge. Berlin 1847. — Kölliker, mikroskop. Anatomie II. 1. 480 u. 517. — Hannover, im Jahresbericht über specielle Anatomie für das Jahr 1851 v. Henle p. 61.

Nervus acusticus*).

Seine röhrigen Bestandtheile sind schmal, leicht zerstörbar; in dem nervus vestibuli finden sich Ganglienkugeln mit Fortsätzen, die in Nervenröhren übergehen, eingestreut, und zwar sowohl im Verlaufe desselben, als in der Endigung auf Ampullen und Säckchen. In der Ausbreitung des n. cochleae auf dem knöchernen Spiralblatt der Scheide finden sich bipolare, in der Nervenscheide eingelagerte Ganglienkörper Seine Wurzeln stammen nach verschiedenen Angaben aus sehr verschiedenen Theilen des kleinen Gehirns und verlängerten Marks. Man hat sich, so viel abweichende Meinungen auch bestehen, mindestens darüber geeinigt, dass er seine Wurzeln von den Querfasern, die über die Pyramide streichen (fibrae arcuatae), dann aus dem Boden der vierten Hirnhöhle (striae medullares) und endlich aus dem corpus restiforme bezieht. Diese Fasern kreuzen sich nachweisslich zum Theil in der Mittellinie des Hirnes. Im weitern Verlauf ist er mit der Flocke verbunden.

Seine Zerstörung bedingt vollkommene Taubheit; durch den Akt der Verletzung wird kein Schmerz hervorgerufen.

Zur Bestimmung seiner Wurzelursprünge hat man sich des häufig vorkommenden Schwindens des Nerven noch nicht bedient. — Ausser den oben angegeben Wurzelästen nennt man speciell noch den äussersten Markübergang der Brücke, den grauen Ueberzug über den Boden des vierten Ventrikels vom calamus scriptor. bis zum aqduct. Sylvii, das velum posterius, die inneren Querfasern der pons, den grauen Kern des kleinen Gehirns u. s. w. — Ueber die verschiedene Bedeutung des nerv. vestibuli und cochleae siehe das Gehörorgan.

Nerv. oculomotorius**).

Nach übereinstimmenden Angaben lassen sich seine Wurzelfäden durch die Grosshirnstiele bis nahe unter den Boden des aquaeductus Sylvii verfolgen, und treten in die dort vorhandene graue Substanz; ob sie sich an diesem Ort, wo sie der Mittellinie sehr nahe liegen, kreuzen, bedarf noch weiterer Bestätigung. Die Röhren ändern ihren Durchmesser, wenn sie aus der grauen in die weisse Substanz treten, nach Art der motorischen Rückenmarksnerven. Beim Menschen führt der Nervenstamm 15000 und zwar nur breite Röhren. Seine Verletzung innerhalb der Schädelhöhle soll nach einzelnen Angaben schmerzlos, nach anderen schmerzhaft sein; innerhalb seines Verlaufs durch die Augenhöhle ist der oculomotorius offenbar empfindlich. Je nachdem man dem einen oder andern Befund mehr Zutrauen schenkt, lässt man den Nervenstamm schon von seinem Ursprung an mit sensiblen Fasern versehen sein, oder erläutert seine Empfindlichkeit aus der bekannten Anastomose, welche er mit dem n. trigeminus eingeht.

*) Zu den angeführten Werken noch Pappenheim u. Corti in Köllikers mikroskopischer Anatomie II, 1. 519. — Czermak ibidem. — Corti recherches sur l'organe de l'ouie etc. Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie 1851. 134.

**) Stilling, Bau des Hirnknotens. Jena 1846. — Rosenthal de numero atque mensura microscopica fibrillarum. Breslau 1845.

Wenn nicht ganz, so ist wenigstens unser Nerv seinem grössten Theile nach motorisch. Abhängig sind von ihm die Bewegungen der m. m. rectus superior, r. internus, r. inferior, obliquus inferior, des Verengerers der Pupille, wahrscheinlich des musc. tensor choroideae und endlich des m. levator palpebrae superioris.

Der n. oculomotorius der Säugethiere weicht bezüglich seiner Vertheilung vom menschlichen sehr ab; bei ihnen begibt er sich nämlich nachweisslich auch noch zum musc. rectus externus, musc. obliquus superior und dem eigenthümlichen retractor bulbi; dass er beim Menschen nicht noch den m. rect. extern. und den m. obliq. sup. versorgt, geht ausser der anatomischen Untersuchung auch noch daraus hervor, dass bei Lähmungen des n. oculomotorius das Auge kräftig nach aussen gerichtet ist, und um seine Längsachse (die sog. Sehachse) gedreht werden kann. Diese Lähmungen liefern auch den Beweiss, dass er bei Menschen die Pupille verengert, weil unter diesen Umständen die Pupille zwar nicht besonders erweitert ist, aber durchaus nicht mehr verengert werden kann. Die allgemeine Annahme, dass er Verengerer der Pupille sei, wird auch noch dadurch unterstützt, dass bei intensiv - willkürlichen Erregungen des n. oculomotorius und namentlich bei der Einwärtsstellung des Augapfels der Durchmesser der Pupille sich verkleinert. — In wiefern seine Lähmungserscheinungen beweissen, dass er auf den tensor choroideae wirkt, kann erst später erörtert werden; seine sehr bemerkenswerthe Stellung zu verschiedenen Hirntheilen, wird ebenfalls erst später in Frage kommen.

Nervus trochlearis*).

Die Wurzelfäden des Nerven kommen theils aus dem obern Ende der grauen Substanz, welche den Boden der vierten Hirnhöhle bedeckt und mit einem zweiten Bündel aus einer grauen Masse am Boden des aquaeductus Sylvii. Sie treten dann über die Mittellinie hinaus auf die entgegengesetzte Seite und kreuzen sich bevor sie die Hirnmasse verlassen mit den gegenüberliegenden Nerven im velum anterius. Der Stamm führt breite Röhren, ihre Gesammtzahl beträgt 1100 bis 1200. Der Nerv versorgt wahrscheinlich nur den musc. trochlearis mit motorischen Fasern.

Ausser dieser als gewiss anzugebenden Funktion schreibt man ihm zuweilen auch noch eine sensible zu. Seine physiologische Stellung zu den andern Hirntheilen siehe beim Sehorgan.

Nervus abducens.

Seine Wurzelfasern sollen durch die Längs- und Querfasern der Brücke hindurch verfolgt werden können bis in eine graue Masse, welche am Boden der vierten Hirnhöhle gelegen ist. Der Stamm enthält 2000 bis 2500 breite Röhren.

Seiner Vertheilung gemäss ist seine einzige Funktion in einer Bewegung des m. rect. externus zu suchen; sensible Fasern besitzt er nicht.

Was seine Verbindung mit sympathischen Zweigen im sinus cavernosus und die Aestchen zu bedeuten haben, welche er öfter an das ganglion ciliare oder die Ciliarnerven schickt ist unbekannt. — Bei Säugethieren versorgt er zugleich mit dem n. oculomotorius noch den m. retractor bulbi.

*) Ed. Weber, Artikel Muskelbewegung in Wagners Handwörterb. III. 2. Abth. — Stilling, der Bau des Hirnknotens. Jena 1846.

Nervus trigeminus *). —

Die sogenannte grosse Wurzel verfolgt man mit Sicherheit bis in das corp. restiforme; eine andere Abtheilung soll auch bis in die graue Substanz am hinteren Ende der Rautengrube sich erstrecken und hier gegen die Mittellinie sich verlieren. Die grosse Wurzel enthält feine und grobe Röhren im Gemenge. — Die kleine Wurzel dringt nach allgemeiner Angabe ebenfalls gegen und in die graue Substanz am hintern Ende der Rautengrube. Sie führt im Stamm 9000 bis 10,000 breite (aber keine feinen) Röhren. — In seinem Verlauf ausserhalb des Hirns enthält er das Ganglion semilunare, welches sich vorzugsweise an die Fortsetzung der grossen Wurzel anschliesst. Nach einigen Angaben liegen in diesem Ganglion alle Ganglienkörper in den Nervenröhren, nach andern soll dieses Vorkommen nur selten sein und die Ganglienkugeln entweder zu den apolaren oder unipolaren zu zählen sein. — Der übrige Verlauf des Nerven ist bekannt. —

Der Nerv. trigeminus vermittelt die Empfindlichkeit der vordern Fläche des Ohrs und Gehörgangs, der Stirn, der Schläfen und Gesichtshaut, der Augenhöhle und des Auges, der inneren Nasenfläche, des Gaumens, des Zungenkörpers, des Bodens der Mundhöhle, der Zähne und der dura mater (?), ob ein Theil der Geschmacksempfindung von ihm anhängig, bleibt noch zweifelhaft. —

Abhängig sind ferner von ihm mm. temporalis, masseter, pterygoidei, mylohyoideus, digastricus anterior, tensor palati mollis und tensor tympani. — Nachweislich wirkt er ferner auf die Verengerung der Gefässe in der m. conjunctiva, iris (der Nasenfläche und des Zahnfleisches ?). — Ferner die Absonderung des Speichels in gl. parotis und submaxillaris, und der Thränen in der gl. lacrymalis. Aus Versuchen an Thieren geht hervor, dass die grosse Wurzel nur sensible und die kleine alle motorischen Elemente enthält. —

Ob der Nerv auch die Nasenschleimabsonderung und die Funktion der übrigen Speicheldrüsen vermittelt, ist wahrscheinlich, aber noch nicht erwiesen. Wenn man bei Lähmungen des Nerven am Menschen die entsprechenden Schleimhäute trocken fand, oder umgekehrt bei heftigen krankaften Erregungen (Hyperästhesie), Speichel- oder Nasenschleimfluss, so kann dies auch aus reflektorischer Wirkung abgeleitet werden. Die Controverse über die theilweise Abhängigkeit des Geschmacksinnes siehe denn. glossopharyngeus und Geschmacksinn. Die eigenthümlichen Einflüsse des Nerven auf die Gefässe und die Muskeln der Iris werden in der Ernährungslehre und beim Auge betrachtet werden. — Zur Ausmittlung der Funktionen dieses Nerven bedient man sich einer eigenthümlichen, nur für diesen Nerven mit einiger Sicherheit anwendbaren Durchschneidungsmethode. Man durchbohrt mit einem eigends construirten Messer, dem sogenannten Neurotom**), den Schädel zwischen Ohröffnung und Augenwinkel, fährt auf der Schädelbasis hin gegen die Ausbreitung des Nerven

*) Romberg, Lehrbuch der Nervenkrankheiten I. Bd. 33 u. 215. — Rahn, Untersuchungen über Wurzeln und Bahnen u. s. w. Henle u. Pfeufer, Neue Folge. I. Bd.

**) Vid. Valentin, Lehrbuch der Physiologie II. 6. 362.

auf dem grossen Keilbeinflügel und durchschneidet mit nach hinten und unten gewendeter Schneide den Nerven. Obgleich sehr häufig der Erfolg durch Verwundung von Hirntheilen, der Carotis, des sinus cavernosus etc. getrübt und öfter der ram. III (wegen seines frühen Eintretens in den Knochen) nicht durchschnitten wird, so gelingt es bei grosser Uebung doch öfter und was werthvoller ist, sicher nur den n. trigeminus zu durchschneiden und das Thier bis zu 8 Tagen, ja monatelang am Leben zu erhalten.

Nervus facialis *).

Bei seinem Austritt aus dem Hirn ist er aus zwei deutlich verschiedenen Bündeln zusammengesetzt, einem grössern und einem kleinern, der sogenannten portio intermedia Wrisbergi. — In das Hirn hinein sollen sich seine Röhren bis gegen die graue Substanz am Boden der Hirnhöhle verfolgen lassen und theilweise gegen die Mittellinie dringen. — Der Stamm setzt sich aus 4000 bis 4500 breiten Röhren zusammen. Ein Angriff auf den Nerven vor seinem Eintritt in den meatus auditorius internus soll keine Schmerzen erzeugen; die Empfindlichkeit, welche der Nerv nach seinem Austritt aus dem foram. stylomastoideum darbietet, muss demgemäss durch Nervenröhren bedingt sein, welche aus andern Wurzeln stammend, in Anastomosen ihm beigemengt werden. Am wahrscheinlichsten gehören diese Fasern ursprünglich dem n. trigeminus und vielleicht dem n. vagus an. — Der Nerv ist vorzugsweise ein motorischer; es hängen von ihm ab, sämmtliche zur concha auris gehörige Muskeln, m. stapedius, m. frontalis und occipitalis (?), m. corrugator supercilii, m. orbicularis palpebrarum, ferner sämmtliche Hautmuskeln der Nase, der Mundes mit Einschluss des m. buccinatorius, und die des Kinns; das platysma myoides, m. stylohyoideus, der hintere Bauch der m. digastricus, m. levator palati mollis. Endlich leitet seine Erregung auch die Absonderung des Speichels in der glandula parotis und submaxillaris ein.

Der Nachweiss, dass keine sensiblen Fasern in den Wurzeln des n. facialis enthalten seien, ist nach einigen Autoren dadurch geführt, dass nach Durchschneidung des nerv. trigeminus in der Schädelhöhle auch der Stamm des n. facialis bei seinem Austritt aus dem foramen stylomastoideum aufhört, empfindlich zu sein. — Einige am Menschen beobachtete Thatsachen scheinen diese Angabe zu bestätigen; denn nach einer auf den n. facialis beschränkten Lähmung ist an keinem Orte die Empfindung verschwunden, und umgekehrt nach einer auf den n. trigeminus beschränkten Lähmung ist in den gemeinschaftlichen Regionen beider nirgends eine Spur von Empfindung erhalten. Die Behauptung, dass ihm der n. vagus durch seinen ram. auricularis Empfindungsfasern zutheile, ruht auf keiner Beobachtung. — Die bemerkenswerthe Anastomose zwischen n. acusticus und portio intermedia Wrisbergi ist in ihrer Bedeutung nicht erläutert. — Die Angabe, dass die chorda tympani die Muskeln der Ausführungsgänge der Speicheldrüse versorge, ist darum ungegründet, weil diesen Gängen das Muskelgewebe fehlt. — Die Bedeutung unseres Nerven für die Sinneswerkzeuge siehe bei diesen.

---

*) Nuhn, Versuche über den Einfluss d. N. facialis auf die Bewegungen des Gaumensegels in dessen Untersuchungen u. Beobachtungen aus dem Gebiete der Anatomie etc. Heidelb. 1819.

Nervus glossopharyngeus*).

Vom Boden der Rautengrube, unmittelbar über dem calamus scriptorius dringen aus der grauen Substanz die Wurzeln des Nerven durch die corpora restiformia; eine Kreuzung der Ursprungsfasern im Hirn ist noch nicht sicher beobachtet, wohl aber vermuthet. — Es ist wahrscheinlich, dass die Grenzbündel zwischen n. glossopharyngeus und n. vagus bald in den einen und bald in den andern Nerven gefasst werden. Der Stamm ist aus 3500 bis 4000 Röhren dargestellt. Ausser in den bekannten Stammganglien finden sich an seiner Verbreitung in der Zunge Ganglienkugeln an ihn gelagert.

Der Nerv enthält öfter, wenn nicht immer, motorische Fasern, welche zu den m. stylopharyngeus, constrictor faucium medius, m. levator palati mollis und m. azygosuvulae treten.

Fasern, deren Erregung Tastempfindung erzeugt, scheint der Nerv wenige zu führen, indem seine Verletzung bei empfindlichen Thieren nur geringe Schmerzensäusserungen erzeugt; die peripherische Verbreitung der sensiblen Elemente dürfte auf dieselben Stellen, wie die der schmeckenden geschehen. Vorzugsweise ist er dagegen Geschmacksnerv, und namentlich scheint er die Geschmacksempfindung der Zungenwurzel und des weichen Gaumens zu vermitteln.

Die verschiedenen Angaben bezüglich der motorischen Wirkungen unseres Nerven können nur aus Verschiedenheiten in der Zusammenfassung der Wurzelbündel erläutert werden. — Der Mangel oder vielmehr die geringe Menge sensibler Fasern im m. glossopharyngeus erhellt deutlich aus den Resultaten seiner Durchschneidung; ein gleicher schmerzerzeugender Angriff auf gleichgrosse Aeste des trigeminus oder den ramus laryngeus superior n. vagi erzeugt viel heftigere Schmerzensäusserungen. Das Verschwinden einiger reflektorischer Bewegungen nach Durchschneidung des n. glossopharyngeus beweisst nichts für die speziell empfindliche Natur der betreffenden Nervenröhren, weil auch die Geschmacksnerven Reflexbewegungen, analog den Wirkungen aller Sinnesnerven, auslösen können. Nach neueren Untersuchungen wird es mehr als nur wahrscheinlich, dass der n. glossopharyngeus der einzige Geschmacksnerv gewisser Säugethiere, z. B. der Katzen, ist. Denn aus allen guten Versuchen erhellt, dass widerlich bitterschmeckende, geruchlose Substanzen (Chinin, Coloquinthenabsud) von dem Thier, dessen trigeminus durchschnitten war, selbst nach längerem Fasten niemals genossen werden, so lange der n. glossopharyngeus erhalten ist; diese Substanzen werden dagegen ohne den geringsten Widerwillen aufgenommen, sowie man den n. glossopharyngeus durchschnitten und den n. trigeminus erhalten hat. Beim Menschen sind die Thatsachen zweifelhafter. Hier sind allerdings Fälle bekannt, wo nach alleiniger und scheinbar vollkommener Lähmung des n. trigeminus die Geschmacksempfindung der Zungenspitze erhalten war; es stehen ihnen aber andere entgegen, wo unter gleichen Umständen sie erloschen gefunden wurde. Wenn man als Gegenbeweis gegen die Geschmacksfunktion des n. trigeminus geltend macht, dass man bei sogenannten Hyperästhesien des n. trigeminus (d. h. bei vom Hirn ausgehenden krankhaften Erregungen) keine subjektiven Geschmacks-

*) Stannius. Ueber die Funktionen der Zungennerven. Müllers Archiv 1848. — Romberg, Nervenkrankheiten. I. Bd. 256. — Mayer, diss. sistens paralyseos nervi trigemini casum. Fref. ad. Mœn. 1847. — Kölliker, Mikroskop. Anatomie II. b. 33. u. Verhandlungen d. physik. medizinischen Gesellschaft II. 169. — Riffi u. Morganti, Sui nervi della lingua etc. in Valentin, Jahresbericht über 1846. 197.

empfindungen der Kranken beobachtete, so müsste erst erwiesen sein, dass diese besondere Natur der Erregung überhaupt Geschmacksempfindungen bewerkstelligen kann. Die wenigen pathologischen Fälle, in welchen eine Zerstörung des n. glossopharyngeus beim Menschen beobachtet wurde, sind entweder mit andern Verletzungen zu sehr complizirt oder nicht genau genug beobachtet, um Schlüsse zu erlauben. Alle gegen die Geschmacksfunction des n. trigeminus vorgebrachten Gründe werden wenig überzeugend sein, so lange nicht erwiesen ist, dass sich Fasern des n. glossopharyngeus in die so empfindlich schmeckende Zungenspitze begeben, welche nach den vorliegenden anatomischen Untersuchungen allein vom n. trigeminus beherrscht wird. — Die Frage, ob die Fasern der Zungenspitze andere Geschmacksempfindungen vermitteln, als die der Zungenwuzel, wird bei dem Geschmackssinn besprochen. — Die Bedeutung des ram. tympanicus (Jacobsonii) ist vollkommen unbekannt. — Die Behauptung, dass der n. glossopharyngeus der Absonderung des Rachenschleims vorstehe, bedarf besserer Beweise als die bis dahin vorgebrachten.

Nervus vagus und n. accessorius Willisii.

Die innige anatomische Beziehung zwischen beiden Nerven macht es zum Theil schwierig, zum Theil unmöglich, die jedem einzelnen zugehörige Funktion zu ermitteln. Den vorliegenden Thatsachen entsprechend wird hier zuerst jeder Nerv, so weit es angeht, gesondert, und dann beide gemeinsam behandelt.

a. N. vagus. Seine Wurzeln treten zwischen Oliven und hintern Strängen (corpora restiformia) durch die hier noch vorhandenen Reste der gelatinösen Substanz in eine auf dem Boden der vierten Hirnhöhle liegende graue Masse (die Fortsetzung der grauen Substanz des Rückenmarks); indem sie in diese eintreten, werden die Nervenröhren so blass und zart, dass sie sich nicht weiter verfolgen lassen. Seine Wurzeln führen ungefähr 4000 dünne und 5000 dicke Röhren.

Eine isolirte Erregung seiner Wurzelbündel bedingt eine Bewegung des m. levator palati mollis, m. azygos uvulae, arcus pharyngopalatinus, constrictor pharyngis supremus, medius (?), infimus, des Oesophagus und des Magens, der mm. cricothyreoideus, cricoarytenoideus posticus, lateralis und hyothyreoideus.

Ausserdem erregt eine Berührung seiner Wurzelfäden sehr heftige Schmerzen; es fehlen aber noch die Angaben über die Endflächen, in welche sich diese sensiblen Fasern verbreiten.

b. N. accessorius Willisii*). Seine vom Rückenmark entspringenden Wurzeln gehen durch die Seitenstränge in eine Anhäufung grauer Substanz, welche den Vorderhörnern entspricht, von hier gegen die commissura anterior und die Pyramidenkreuzung, wo sie über die Mittellinie hinaustreten und in die entgegengesetzte Markhälfte eingehen; in dem verlängertem Marke verhalten sich die entspringenden Röhren, wie die Vagusursprünge, an die sich die oberen Wurzeln so anschliessen, dass sie nicht von ihnen unterschieden wer-

*) Claude Bernard. Recherches expérimentales sur les fonctions du nerf spinal etc. Archiv. général. 1844.

den können. Beim Eintritt in die graue Substanz verdünnen sich die Fasern auffallend. Die meisten Röhren der ausgetretenen Wurzeln an Zahl 2000 bis 2500 gehören zu den stärkeren; ausserdem führen sie noch dünne.

Seine unteren (Rückenmarks-) Wurzeln sollen, wie sie ihrem Ursprung nach den vordern Rückenmarkswurzeln entsprechen, sich vollkommen unempfindlich verhalten; die obern sollen empfindlich sein.

Seine motorischen Funktionen erstrecken sich auf die mm. levator palati mollis, tensor palati mollis, azygos uvulae, die Muskeln des pharynx und den Oesophagus und einige noch nicht näher bestimmte Muskeln des larynx. Ausserdem wirkt der Nerv motorisch auf die mm. sternocleido - mastoideus und cucullaris. — Es ist bemerkenswerth, dass verschiedene Wurzelbündel zu denselben Muskeln Zweige absenden.

Die Isolation der n. Vagus- und Accessoriuswurzeln behufs der Erregung unternimmt man entweder dadurch, dass man die Schädelhöhle des lebenden oder eben getödteten Thieres öffnet, oder dadurch, dass man bei Kaninchen und Katzen (nicht bei Hunden) am hintern Ast des n. accessorius empordringt und ihn möglichst nahe am for. jugulare mit einer stumpfen Pinzette ausreisst. — Bei Anwendung der ersten Methode sterben wegen Verblutung oder Lufteintritt in die Venen die Thiere bald und nur unter besonderer Vorsicht ist es gelungen, die Thiere kurze Zeit am Leben zu erhalten. Bei der zweiten sollen die Thiere länger am Leben bleiben; es fehlt aber vollkommene Gewissheit ob man alle Wurzelfasern des n. accessorius und nur diese, und nicht zugleich Vaguswurzeln mit ausgerissen hat.

c. Gemeinsamer Stamm des N. vagus und accessorius *) — Die empfindlichen Flächen, welche von beiden Nerven, ohne dass sie einem von ihnen besonders zugewiesen werden konnten, versorgt werden, liegen an der hintern Wand des weichen Gaumens (?) im Schlund, in der Speiseröhre, dem Magen, Kehlkopf, der Luftröhre, den Lungen und dem Herzen.

Ausser den unter a und b erwähnten Muskeln regen die zum gemeinsamen Stamm vereinigten Nerven noch zur Bewegung an: die kleinen Muskeln der Trachea, die des Lungengewebes (?) den Dünndarm und Uterus (?). Ausserdem aber wirkt er in einer ganz eigenthümlichen Art auf die Herzmuskulatur ein; Ed. Weber; denn es ruft eine Erregung der rami cardiaci keine Zusammenziehung des verlängerten, sondern vielmehr eine Erschlaffung des zusammengezogenen Herzmuskels hervor, so dass der n. vagus dem Herzen gegenüber zu gerade den entgegengesetzten Leistungen, die alle anderen Nerven auf die Muskeln vermögen, geschickt ist. Bei der Betrachtung der Herzbewegungen wird es sich jedoch herausstellen, dass dieser spezifische Einfluss nur mit Hilfe von Zwischenapparaten erreicht wer-

*) Donders. Onderzockinge gedaan in het physiologisch Laboratorium der utrechtsche Hoogeschool 2. Jaar 1849. p. 9 in der Abhandlung über den Zusammenhang zwischen Blutlauf und Athemholen. — Kilian. Einfluss d. medull. oblongata etc. Henle u. Pfeufer. Neue Folge II. Bd. — Fowelin de causa mortis post nervos vagos dissectos. Dorpati 1851.

den kann, so dass genauer ausgedrückt, die erschlaffende Wirkung der Vagusäste nicht auf die Muskelfasern, sondern auf diese Zwischenapparate geht.

Ausserdem schreibt man dem gemeinsamen Stamme noch einen direkten Einfluss auf die Absonderungsthätigkeit der Magensaftdrüsen und die Verengerung der Capillargefässe der arter. pulmonalis oder a. bronchialis zu; ob mit Recht, ist noch nicht erwiesen.

Man hat in Anbetracht, dass Zweige der nn. vagus und accessorius (?) zum Magen sich begeben, von ihnen das Hungergefühl abhängig gemacht. Diese aus anatomischen Gründen wahrscheinliche Hypothese werden wir bei der Verdauung besprechen. Dort wird auch die Frage über den Einfluss der Nerven auf die Verdauung abgehandelt. Nach Durchschneidung beider Vagusstämme am Hals füllen sich die Lungenbläschen bald mit einer eigenthümlichen Flüssigkeit an, welche durch Störung des Athemgeschäftes den Tod herbeiführt. Es bleibt ungewiss ob diese Flüssigkeit von den Lungen abgesondert wird, weil ihre Capillargefässe verändert oder weil die Intensität der Herzwirkungen vermehrt ist, oder ob sie aus der Mundhöhle durch die gelähmte Stimmritze dringen; die verschiedenen Hypothesen und deren Begründung wird bei den Athemfunctionen genauer mitgetheilt.

Am Oesophagus, Herz und wahrscheinlich auch an den Lungen dringt der Nerv jeder Seite auf beide Hälften der genannten Organe.

Den Einfluss, den die Pulmonaläste des n. vagus auf die kleinen Muskeln der Lungen ausüben, studirte man auf die Art, dass man in die Luftröhre ein heberförmig gebogenes, mit etwas Wasser gefülltes Glasrohr luftdicht einband und darauf den Stamm der n. vagi erregte. Wurde durch deren Erregung Zusammenziehung der Lungenmuskeln bedingt, so wurde die Lungenluft zusammengedrückt, in das Glasrohr getrieben und das Wasser gehoben. Den älteren Beobachtungen von Willis und Volkmann gegenüber leugnet Donders den erregenden Einfluss des n. vagus.

Nervus Hypoglossus.

So weit er verfolgbar, tritt er aus einer grauen Masse, die am Boden des calamus scriptorius liegt, aus, kreuzt sich vollkommen, so dass die ursprünglich rechten Fasern zur linken Seite und umgekehrt treten und erscheint zwischen Olive und Pyramide auf der untern Fläche des verlängerten Markes; seine Röhren verdünnen sich auffallend innerhalb ihres Verlaufs durch die graue Masse. Im Stamm führt es nur breite Fasern gegen 4500 bis 5000.

In der Schädelhöhle führt er keine (?) sensiblen Elemente; auf seinem weitern Verlauf wird er dagegen durch Beimengung von Röhren aus verschiedenen Nerven sehr empfindlich.

Seine motorischen Funktionen beziehen sich vorzugsweise auf die Zunge; die besondern Muskeln, die er versorgt, sind bald nur nm. styloglossus, hyoglossus, genioglossus, lingualis, thyreohyoideus, dann nächst diesen auch sternohyoideus, omohyoideus? und sternothyreoideus?

Dass die Zunge noch aus andern Quellen als den hier erwähnten Wurzeln motorische Röhren erhält, werden wir später noch erfahren. —

Während *) der Darstellung der Verbreitungsbezirke aller Hirn-

*) Volkmann, Artikel Nervenphysiologie. — Budge, Neurolog. Mittheilungen, Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie 1851. — Compt. rend. 1851. 33. Bd.

nervenwurzeln haben wir schon wiederholt darauf hingewiesen, dass sich durch den weitern Verlauf stetige Verflechtungen und Mengungen gesondert entspringender Röhren ereignen; hier ist nun schliesslich noch darauf hinzuweisen, dass auch die Rückenmarksnerven vielfach in das Gebiet der Hirnwurzeln eingreifen; namentlich dringen 1. durch den Halsstamm des N. sympathicus Zweige in das Ganglion ciliare aus dem untern Halsmark; — 2. sendet wahrscheinlich aus dem Dorsalmark der Sympathicus Zweige in den ram. recurrens vagi; — 3. Communiziren die obersten Halsnerven mit den Hirnnerven und namentlich 1ter und 2ter Halsnerv mit nn. vagus, accessorius und hypoglossus.

2. Verlauf der motorischen Nervenröhren durch das Hirn*). — Bevor zu einer Mittheilung der Thatsachen geschritten werden darf, ist es hier vor Allem nöthig, die Schwierigkeiten, die sich ihrem Erwerb entgegensetzen, in Erwägung zu ziehen. — a. Auf Erregung eines jeden bewegungerweckenden Hirntheils, erhält man stets Bewegungen complicirter Art; denn niemals sind es einfache stetige Zusammenziehungen eines oder mehrerer Muskeln, welche genau so lange sich erhalten, als die Einwirkung des Erregers dauert, sondern immer Bewegungen von Muskelgruppen, deren einzelne Abtheilungen nach einer solchen Reihefolge in die Zusammenziehung ein- und aus ihr austreten, dass z. B. eine scheinbar auf ein bestimmtes Ziel gerichtete Bewegung einer Gliedmasse oder ähnliches zu Stande kommt. Da auf direkte Erregung der Hirnmasse diese Erscheinungen auch eintreten ohne irgend welches Zeichen von Schmerzhaftigkeit, so führen sie zu dem Schluss, entweder dass die motorischen Röhren im Hirn, vermöge ihrer Lagerung und ihrer Erregbarkeitsverhältnisse, schon für sich in eine solche Anordnung gebracht seien, dass eine ausgedehnte (Gruppen von Nervenröhren treffende) Erregung jedesmal eine sogenannte zweckmässige und rhythmische Bewegung erzeuge, — oder dass es im Hirn unempfindliche reflektorische Fasern gebe. Weil uns kein Mittel zu Gebote steht, diese Zweideutigkeit wegzuräumen, so geben die Erfolge direkter Erregung zweifelhaften Aufschluss über die gerade Fortsetzung des Röhrenverlaufs durch das Hirn. — b. Auf ihrem Verlauf durch das Hirn sind die zu einem Muskel gehörigen Nerven mit verschiedenen Erregerquellen in Verbindung, mit seelischen, automatischen, reflektorischen; rücksichtlich der Stellung eines Muskels zu diesen verschiedenen natürlichen Erregern, erscheint es vorerst gleichgiltig ob derselbe aus drei oder noch mehr verschiedenen Orten verschiedene Nerven erhält, oder ob die besonderen Erregerquellen auf verschiedenen Stellen des Verlaufes eines und desselben Nerven angebracht sind, denn immer folgt aus

*) Longet, Anatomie et physiologie etc. 1. Bd. — Volkmann, Artikel Hirn in Wagners Handwörterbuch 1. Bd. — Valentin, Lehrbuch der Physiologie 2. Aufl. II. Bd. b.

der einen wie aus der andern Anordnung, dass Durchschnitte durch das Hirn, welche selbst einen oder den andern zu einem Muskel gehenden Nerven treffen, dennoch keine vollkommene Lähmung des Muskels erwirken. Weil uns nun aber bei Thieren nur gar zu häufig das Criterium fehlt, ob eine Bewegung auf die eine oder die andere Art ursprünglich erregt sei, so wird ohne eine genauere Untersuchung, als man sie bisher anzustellen gewöhnt war, überhaupt die den Durchschnitt des Nerven begleitende Lähmung übersehen werden können; und somit erweist sich auch der Versuch zweifelhaft, welcher aus der den Durchschnitt begleitenden Lähmung, den Verlauf der motorischen Nervenröhren zu erschliessen sucht. — c. Die Nervenröhren sind in ihrem Verlauf durch das Hirn nun offenbar auch mit solchen Apparaten in Verbindung, welche den erregten zuckungerzeugenden Zustand des Nerven dahin umzusetzen vermögen, dass der Nerv statt Zukkung Muskelruhe erzeugt; mit andern Worten, es gibt im Hirn Vorrichtungen deren erregende Kräfte dazu verwendet werden den schon anderweitig erregten Nerven zu beruhigen. Alle Nerven die in einen solchen Apparat eingehen, werden aber in Folge ihrer direkten Erregung Erschlaffung eines zusammengezogenen Muskels und umgekehrt nach ihrem Durchschneiden am passenden Orte Zusammenziehung eines erschlafften Muskels erzeugen. Auf diese eigenthümliche Stellung des Nerven ist man bis dahin ebenfalls noch nicht aufmerksam genug gewesen. — d. Die an den Individuen einer Species oder Gattung gewonnenen Thatsachen dürfen nicht unmittelbar auch als gültig angesehen werden für diejenigen anderer Familien oder gar anderer Classen von Thieren. Denn wenn auch die bisherigen physiologischen Versuche über das Hirn wenig lehrreich waren, so haben sie uns doch mindestens die Versicherung gegeben, dass es eine ganz willkürliche Fiktion ist, aus äusserlicher Formähnlichkeit gewisser Hirntheile bei verschiedenen Thieren auf eine functionelle Gleichartigkeit derselben schliessen zu wollen. — e. Zu diesen im Hirnbau liegenden Schwierigkeiten kommt nun eine andere Reihe, welche eingeführt werden durch die Operationsmethoden, Schwierigkeiten, auf deren Beseitigung man bis heute noch nicht gedrungen hat; zu ihnen zählt, dass man, um zu tiefer gelegenen Hirnparthieen zu gelangen, den Schädel öffnen, das Hirn abkühlen, Blutungen erzeugen und anderseits den Kreislauf des Blutes unterbrechen muss. Wie unmessbar sind diese Störungen. Endlich sind die bis jetzt angewendeten Erregermethoden weder in ihrer räumlichen Verbreitung, noch in ihrer Intensität abgestuft genug um Gewähr zu leisten, dass man nur die Nervenmassen erregt habe, mit denen der erregende Apparat sich in unmittelbarer Berührung befand.

Wem die zahllosen Schwierigkeiten vor Augen treten, welche sich hier der Untersuchung entgegen werfen, und wer, im Geiste den wun-

derbaren Bau des Hirns schauend, von Staunen ergriffen ist über die Leistungen dieses zarten und verschlungenen Gefüges, der wird gewiss mit Abscheu sich wegwenden von den rohen Versuchen jener Classe von Henkern, welche blindlings durch den Schädel hindurch mit Nadeln und Messern in das feinste aller Gebilde stechen und schneiden, unter dem dreisten Vorgeben, der Wissenschaft einen Dienst zu leisten. Das Beginnen dieser Hirnbohrer ist kaum weniger sinnvoll als das Bestreben, durch Schüsse aus Flinten und Pistolen, die man in eine Cylinderuhr sendet, die Funktionen ihrer Räder und Federn zu ermitteln.

Nach diesen Einleitungen bitten wir, mit der höchsten Vorsicht folgende Mittheilungen aufzunehmen.

a. Die motorischen Nervenröhren, deren Stümpfe in das Hirn steigen, erleiden, insofern dieses nicht schon im Rückenmark geschehen, eine totale Kreuzung, die, in den Pyramiden beginnend, innerhalb der Brücke vollendet wird, so dass alle Rumpf- und Extremitätennerven in den sogenannten Grosshirnschenkeln auf der ihrer Ausbreitung in den Muskeln entgegengesetzten Körperhälfte verlaufen. Oberhalb der Grosshirnschenkel lassen sich die Röhren nicht weiter mit Sicherheit als continuirliche verfolgen; dringen sie in der That von hier aus noch in ununterbrochener Fortsetzung durch Seh- und Streifenhügel zu den Grosshirnlappen, so müssen sie in Beziehung auf ihre Erregbarkeit beträchtliche Modifikationen erfahren.

Den Durchgang der motor. Rückenmarksröhren durch die Pyramiden erschliessen wir für den Menschen aus pathologischen Thatsachen, nach welchen eine nur auf die Bewegungsorgane beschränkte Lähmung des Rumpfes eintritt, wenn Geschwülste, die an der vorderen Wand des Rückgrathkanals gelegen sind, die Pyramiden zusammengedrückt resp. zum Schwinden gebracht haben; dass in ihnen eine Kreutzung der Nerven vor sich geht, wird dadurch bewiesen, dass das Fehlen nur einer Pyramide, sei es eine Folge ursprünglicher Entwicklung oder nachträglichen Schwindens, eine Lähmung der Muskeln auf der entgegengesetzten Rumpfhälfte zur Folge hat. Versuche an höher stehenden Säugethieren, namentlich dem Hunde, bei denen ebenfalls eine Kreuzung der Pyramiden auf anatomischem und physiologischem Wege erwiesen ist, machen es nun für den Menschen wahrscheinlich, dass die Kreuzung allmälig geschieht, indem eine Verletzung des unteren Theils der Pyramide zugleich gegen- und gleichseitige Lähmung nach sich zieht. — Verletzungen des Hirns in der Brücke und in dem Grosshirnschenkel lähmen nach ganz übereinstimmenden Angaben der bessern Pathologen immer die entgegengesetzte Rumpfhälfte; dass sich bis zu diesen Punkten die Hirnfasern als mehr oder weniger unmittelbare Fortsetzungen der Rückenmarksfasern gestalten, schliessen wir, weil direkte Erregung derselben bei höhern Säugethieren, selbst nach Erlöschen aller reflektorischen Wirkungen, eine lebhafte Bewegung in den Gliedern der entgegengesetzten Seite hervorbringt. — Die physiologischen Versuche berechtigen nun aber vorerst nicht zu der Annahme, dass sich die Fasern aus den Grosshirnschenkeln ununterbrochen durch Seh- und Streifenhügel in die Grosshirnhemisphären erstrecken, weil bei den höherstehenden Säugethieren und namentlich dem Hunde durch die Erregung der letzteren Gebilde keine Bewegung des Rumpfs eingeleitet werden kann; jedenfalls stehen aber beide er-

wähnte Hirnganglien und ebenso das Dach der Seitenventrikel in einer bestimmten Beziehung zur Bewegung einer ganzen Körperhälfte, wie die folgenden Bemerkungen lehren werden. —

b. Vom Verlauf der motorischen Kopfnerven innerhalb des Hirns ist nur bekannt, das der n. hypoglossus in Erregung gesetzt werden kann, wenn man den Boden der vierten Hirnhöhle an seiner hinteren Spitze mit mechanischen Mitteln angreift; Stilling, und ferner, dass die Augenmuskelnerven durch Einstechen in die Vierhügel in Thätigkeit gerathen. — Wie die Nerven des Rumpfs so erfahren auch die des Kopfs eine totale Kreuzung.

Die Angabe älterer Pathologen, wonach die Kopfnerven entweder nur eine unvollkommene oder gar keine Kreuzung im Gehirn erfahren sollten, wurde durch Beobachtungen veranlasst, in welchen drückende Körper, die sich in der Schädelhöhle entwickelten, gleichzeitig auf die Rumpfnerven in ihrem Verlaufe durch das Gehirn, und auf die Kopfnerven, nachdem sie aus dem Gehirn getreten waren, einwirkten, so dass Lähmung des Rumpfes und des Gesichtes gleichzeitig aber auf entgegengesetzten Seiten bestand. Romberg.

3. Verlauf der sensiblen Nervenröhren durch das Hirn.

Die sensiblen Nerven hat man im Einzelnen noch nicht durch das Gehirn verfolgt; man weiss nur, dass Berührung einer gewissen Anzahl von Theilen im Allgemeinen die Zeichen des Schmerzes erweckt, während eine Berührung anderer Theile diese Folge nicht nach sich zieht. Zu den schmerzhaften Hirnparthien zählt man allgemein: corpora restiformia und olivaria, den Boden der vierten Hirnhöhle mit Ausnahme des calamus scriptorius und des aquaeductus Sylvii, crura cerebelli ad corpor. quadrigemina, pedunculi cerebri. — Ueber die Empfindlichkeit der Pyramiden und der unteren Fläche der Brücke besteht noch Controverse; in die Vierhügel kann der n. opticus physiologisch verfolgt werden.

4. Mittheilung der Erregungszustände in den Nervenröhren des Hirns.

A. Reflektorische Erregung.

Wie das Rückenmark vermag auch das Hirn die Reflexbewegung zu vermittlen; dieselben charakteristischen Merkmale wie dort bietet sie auch hier. Wir bestimmen eine vom Hirn ausgehende Bewegung als eine reflektorische, vorzugsweise dann, wenn sie gegen den Willen erfolgt oder wenn sie nach vorausgegangenen sinnlichen Eindrücken in unwillkürlich beweglichen Muskeln hervortritt.

Die reflektorischen Bewegungen, welche die sensiblen Hirnnerven erwecken, erstrecken sich nicht allein auf die Nerven des Hirns, sondern auch auf die des Rückenmarks. Eine gründliche Untersuchung ist diesen wichtigen Verhältnissen noch nicht zu Theil geworden. — Folgende reflektorische Beziehungen sind als die wichtigsten unter den bekannteren hervorzuheben.

a. Der n. opticus steht in nächster Beziehung zu den Zweigen des n. oculomotorius, welche die Pupille versorgen; wirkt der Lichteindruck stärker, so erstreckt sich auch sein Einfluss auf den ramus nerv. facialis pro orbiculo palpebrarum. — Ob er auf die Nerven der Thränendrüse einwirkt, steht noch dahin.

Die Erscheinung, dass nach längerem Sehen in die Sonne Niessen erregt wird, kann wegen des Abflusses der Thränen in die Nasenhöhle, und darum, weil sich auf der den warmen Sonnenstrahlen ausgesetzten vorderen Augenfläche Zweige des n. trigeminus verbreiten, nicht als Beweiss gelten, dass der n. opticus auf reflektorischem Wege diesen complizirten Muskelakt hervorrufe.

b. Von der portio major nerv. trigemini findet sich der Ast für die conjunctiva in Beziehung zum ram. pro orbiculo palpebrarum des n. facialis und zu dem n. lacrymalis. — Seine Aeste für die innere Nasenfläche vermitteln auf reflektorischem Wege das Niessen und wirken demnach auf die Nasenäste des facialis, die Nerven für den arcus glossopalatinus (?), die Inspirations- und die Exspirationsmuskeln, und zwar auf alle diese in der eigenthümlichen Combination, dass auf eine volle und tiefe Inspiration, eine kräftige und plötzliche Exspiration während vollkommen offener Stimmritze bei Abschluss der Mundhöhle von den Athemwegen erfolgt. — Der ram. lingualis soll reflektorisch auf den nerv. hypoglossus und die portio minor n. trigemini wirken.

c. Nerv. acusticus soll die Muskeln der sogenannten Gehörknöchelchen reflektorisch affiziren (?).

d. Nerv. glossopharyngeus erregt reflektorisch die Speichelnerven und die obern Muskeln des Schlingapparats, d. h. den ram. pharyngeus des n. vagus und ram. stylopharyngeus des n. glossopharyngeus.

e. Unter den sensiblen Portionen des nerv. vagus und accessorius steht der ram. laryngeus superior in inniger Beziehung zu dem ram. recurrens vagi und den Exspirationsmuskeln, welche er nach seiner Erregung zur sogenannten Hustenbewegung combinirt, ein Akt, bei welchem plötzliche stossweise Exspirationen bei zusammengelegter aber nicht gespannter Stimmritze geschehen. — Der ramus pulmonalis überträgt seine Erregung auf die Inspirationsmuskeln und zwar bei gesteigerter Erregung in ganz gewisser Reihenfolge, so dass die Inspiration zuerst nur mit dem Zwerchfell und dann allmälig auch mit den mm. scaleni, serratus posticus superior, intercostales, levatores costarum u. s. w. vollführt wird, bis in den Bewegungsakt endlich auch die Schulterblatt- und Oberarmmuskeln gezogen werden. Der Schlund- oder Magenast soll im erregten Zustande auf die den Brechakt bewerkstelligenden Muskeln seine Erregung reflectiren.

Einzelne dieser Reflexbewegungen gehen vollkommen beschränkt nur zwischen ganz bestimmten Nerven vor sich; so erzeugt nur der n. opticus, nie der n. acusticus oder n. glossopharyngeus eine Pupillenerregung; niemals wird durch Berührung der äusseren Nase Niesen,

oder durch Berührung der Zunge Husten eingeleitet. Bemerkenswerth ist es ferner, dass dieselben Muskeln von verschiedenen sensiblen Nerven in ganz verschiedener räumlicher oder zeitlicher Combination erregt werden. — Nicht minder wichtig erscheint es, dass einzelne Reflexbewegungen auch bei einseitiger Erregung des sensiblen Nerven immer doppelseitig erscheinen, wie die Pupillenverengerung, Husten und Niessbewegung, während andere nur einseitig vorkommen, wie z. B. der Schluss des m. orbiculus palpebrar. — Die Muskeln, in welchen selbst bei grösster geistiger Aufmerksamkeit Reflexe erfolgen, sind entweder überhaupt unwillkürlich beweglich, wie die Pupille, oder mindestens in der gerade auftretenden Combination vom Willen schwer oder gar nicht anzuregen.

Die Hirntheile, in welchen die erwähnten und überhaupt die reflectorischen Uebertragungen zwischen Kopfnerven geschehen, sind das verlängerte Mark und die Vierhügel; letztere enthalten vorzugsweise den reflecktorischen Apparat für das Auge und werden darum das Centralorgan des Gesichtssinnes genannt. Der Nachweis, dass die bezeichneten Hirntheile die reflektorischen Herde darstellen, geht daraus hervor, dass die Uebertragung noch geschieht, wenn man alle übrigen Hirntheile ausser ihnen entfernt hat, ja dass sie dann am sichersten vorkommt.

Es bedarf kaum der Erinnerung an die bekannte Thatsache, dass alle Kopfnerven bei höheren Erregungen schliesslich reflektorische Krämpfe fast aller Muskeln des menschlichen Körpers bewerkstelligen können,

B. Mitbewegung, Mitempfindung und Reflexempfindung sollen ebenfalls die Hirnnerven zu erzeugen im Stande sein; es ist aber hier so wenig als am Rückenmark ein scharfer Beweis für ihr Bestehen zu liefern.

1) Mitbewegung. — Mit Uebergehung aller andern gar nicht einmal zum Beweissverfahren zulässiger Thatsachen ist hier nur zu erwähnen, dass zwei unwillkürlich bewegliche Organe, das Herz und die Pupille von der Seele aus eine Veränderung ihrer Erregung erleiden können, wenn gleichzeitig eine gewisse Zahl von andern willkürlich motorischen Theilen in Bewegung kommt.

So können wir z. B. die Pupille nicht gesondert verengern, sogleich aber verengert sie sich, wenn wir das Auge nach innen und oben stellen. Ob in diesem Fall wirklich die Erregung aus den willkürlich beweglichen Aesten des n. oculomotorius auf den Irisast übergeht, oder ob in dieser Combination der Irisast direkt von der Seele erregt werden kann, ist nicht zu entscheiden. Siehe hierüber Pupillen und Herzbewegung.

2) Mitempfindung. — Sehen in das Licht, ein Sandkörnchen in der Conjunction soll Kitzeln in der Nase hervorrufen? Hat man in diesem Falle die Thränen von der Nase abgehalten, und den Kopf so gestellt, dass nicht zugleich die Sonne in die Nasenöffnung schien? Oder ist hierbei gar eine Absonderung des Schleims in der Nase übersehen worden? Nach Berührung des äussern Gehörgangs entsteht ein eigenthümliches Kitzelgefühl im Kehlkopf und Neigung zum Husten, ist das nicht vielmehr ein Reflex auf die Muskeln der Stimmritze? — Hören eines Tons nach Streicheln der Wange kann ebenso als Reflex auf die Muskeln der Gehörknöchelchen gedeutet werden u. s. w. Die einzige Erscheinung, welche vorerst keine andere Deu-

tung zu erlauben scheint, ist die, dass nach dem Hören besonderer Töne ein eigenthümliches Gefühl in den Zähnen entsteht.

3) Reflexempfindung — Ein schielendes Auge soll lichtscheu sein; hat es etwas auffallendes, dass ein wenig gebrauchtes Auge besonders empfindlich ist?

Man sieht aus dieser Musterung der Thatsachen, dass kaum eine derselben auch nur die Hypothese wahrscheinlich macht, gegenüber den tausenden von Fällen in denen isolirte Empfindung und Bewegung in den Hirnnerven vorkommt.

5. Verbindungsmassen zwischen den Fortsetzungen der Nervenwurzeln und den Organen der Willkür.

Eine grössere Zahl von Hirntheilen übt, ohne dass durch ihre direkte Erregung im physiologischen Versuch eine Muskelbewegung eingeleitet werden kann, dennoch im Leben einen entschiedenen Einfluss auf dieselbe und besonders insofern die Bewegungen vom Willen abhängig sind. Dieser Einfluss äussert sich in verschiedenen Hirnmassen verschieden.

a. Verletzung einiger Hirntheile zieht die Folge nach sich, dass die vom Willen veranlassten Ortsbewegungen immer eine ganz bestimmte Form annehmen. Nach Durchschneidung des Streifen- und Sehhügels, eines Brückenschenkels oder Seitentheils vom cerebellum entstehen bei Säugethieren keine Lähmungen, insofern sich die Thiere bei vollkommener Ruhe auf ihre Gliedmassen wie im unverletzten Zustand zu stützen vermögen; sowie die Thiere sich aber zu bewegen streben, tritt die eigenthümliche Erscheinung hervor, dass sie nur nach einer bestimmten Richtung hin sich zu bewegen im Stande sind, so dass es scheint, als sei dem Willen die Fähigkeit geraubt, andere als diese eine Combination der Muskeln zur Bewegung hervorzurufen. — Diese an Säugethieren gewonnenen Erfahrungen werden(?) auch durch pathologische Beobachtungen am Menschen bestätigt, indem auch bei ihnen sogenannte Zwangsbewegungen beobachtet sein sollen.

Dieses Feld, der breite Tummelplatz des Dilettantismus, ist noch wenig bekannt und die Früchte seines bisherigen Anbaues sind höchst zweifelhafter Natur. — Nach Durchschneidung des Sehhügels in seinen vordern Theilen soll das Thier eine Kreisbewegung vollführen, in der Art, dass die verletzte Seite gegen den Mittelpunkt des Kreises gerichtet ist; nach Durchschneidung des hintern Sehhügelabschnittes und des Grosshirnstamms entsteht dieselbe Bewegung aber nach der entgegengesetzten Seite; während dieser Bewegungen ist zugleich der Hals des Thieres nach der Richtung der Drehung hin verzogen. — Durchschneidung der Brückenschenkel und Seitentheile des kleinen Hirns bedingt eine Wälzung des Rumpfs um seine Längsachse, verknüpft mit stark divergirender (auswärts schielender) Augenstellung. Verletzung des Streifenhügels soll nach einzelnen noch bestrittenen Angaben die Thiere nach vorn zu laufen zwingen. Die Behauptung, dass Ausreissen des nerv. facialis aus dem for. stylomastoideum bei Kaninchen Drehbewegung erzeuge, ist nicht richtig. — Beim Menschen sollen krankhafte Umwandlungen oder Schwund der Brückenschenkel zwangsartige Drehbewegungen des Rumpfs um seine Längsachse bedingen. Die eigenthümlichen Drehungen, die man bei Thieren nach Verletzung der Sehhügel u. s. w. beobachtet, kommen beim Menschen nicht vor; wohl aber Lähmungen von Muskeln, welche immer auf der dem verletzten Sehhügel entgegengesetzten Körperhälfte liegen, und neben diesen Verziehungen des Halses nach der gelähmten Seite.

Die diesen dunklen Phänomenen untergeschobenen Deutungen sind mindestens unbedeutend; ihre Giltigkeit ist nicht erwiesen; so glaubt man, dass die Erscheinungen der Drehbewegung von einseitiger Lähmung des Willens auf eine Seite abzuleiten sei, oder von gleichzeitiger Lähmung des Adduktoren einer- und der Abduktoren andererseits u. s w. — Am gerathensten würde es sein, den Gegenstand vorerst ganz liegen zu lassen.

b. Verletzung anderer Theile, von denen aus im physiologischen Erregungsversuch unter keinen Umständen Bewegung eingeleitet werden kann, vernichtet die Abhängigkeit gewisser Nervenröhren von dem Willen und der Empfindung vollständig, obwohl hiebei die Seelenfunktionen und die Erregbarkeit der Nerven bis ins verlängerte Mark hinein vollkommen unangetastet bleiben, wie dieses letztere namentlich aus dem Bestehen der Reflexbewegungen hervorgeht. Zu diesen Hirnbestandtheilen gehören beim Menschen die Grosshirnhemisphären, deren Verletzung gewöhnlich eine Lähmung der Empfindung und Bewegung, und zwar immer in gekreuzter Weise (d. h. in der Seite, welche der verletzten Hemisphäre entgegengesetzt liegt) begleitet. Es scheint zugleich, als ob beständig den lokalen Verletzungen der Hemisphären lokale Lähmungen der Nervenwurzeln entsprächen; die sich deckenden Punkte sind aber noch nicht ermittelt. Alle auf diese Thatsachenreihe bezüglichen Erscheinungen erläutern sich nur, wenn man die ganz gewagte Annahme macht, dass zwischen den Nervenwurzeln (die im verlängerten Mark enden?) und den Seelenorganen ein System von Nervenröhren u. s. w. gelegen sei, deren Erregbarkeit eine andere sei, als diejenige der meisten übrigen Nervenröhren, so dass sie von dem Willen, aber nicht durch die gewöhnlichen Erreger in Thätigkeit versetzt werden könnten.

Die Erfahrungen über die Leistungen der menschlichen Grosshirnlappen können nur aus pathologischem Befunde am Menschenhirn gemacht werden, weil die Grosshirnlappen nach den vorliegenden Versuchen bei verschiedenen Thieren eine verschiedene Bedeutung haben. Hier scheint als Gesetz zu gelten, dass je geringer die Ausbildung der Hirnlappen ist, um so unbeträchtlicher auch ihr Einfluss auf willkürliche Bewegung und Empfindung ausfällt. — Einem Frosch z. B. kann man die sog. Grosshirnlappen ohne alle sichtbaren Folgen entfernen; bei den Vögeln erzielt Wegnahme derselben kaum irgend eine Störung der Bewegung; die Thiere stehen, fliegen, sehen u. s. w. Bei Kaninchen bewirkt die Entfernung derselben ebenfalls keine Lähmungserscheinung und erst der Hund fällt nach Verletzung derselben gelähmt zu Boden. Die durch Krankheitsprodukte herbeigeführten Hirnveränderungen werden aber, abgesehen davon, dass sie meist an und für sich wenig lokalisirt sind, noch dadurch vielseitig, dass sie ausser der örtlichen Zerstörung, die sie herbeiführen, mannigfache accessorische Wirkungen, z. B. durch Veränderung des Blutlaufs, allgemeinen Hirndruck durch vermehrte Anfüllung der Schädelhöhle u. s. w. herbeiführen.

Man muss es für gewiss halten, dass einzelne Stellen der Grosshirnlappen nur mit bestimmten Nerven in Beziehung stehen, weil die Beobachtungen nicht selten sind, in denen auf eine beschränkte Verletzung in erstern entweder nur die Empfindung oder seltener nur die Bewegung, oder nur die Bewegungsorgane des Rumpfs, oder einzelner Glieder oder gar nur diejenigen eines einzigen Nerven gelähmt sind. — Es hat aber trotz dieser Beobachtungen und der entsprechenden Hirnsektionen nicht gelingen wollen, die zusammengehörigen Theile zu ermitteln, weil eine Affektion

desselben Nerven durch Krankheit der hintern, mittlern und vordern Grosshirnlappen beobachtet wurde. Man muss nach dieser Beobachtung annehmen, dass die einer Nervenfaser entsprechende Grosshirnfaser ununterbrochen durch die ganze Hemisphäre in mannigfachen Windungen hinzieht. — Hier ist auch die wichtige Beobachtung anzureihen, dass ein nach dem Längendurchmesser der Hemisphären geführter Schnitt weit weniger schädlich wirkt, als ein Querschnitt — Den beim Menschen erschlossenen Zusammenhang kann man auch bei Säugethieren darstellen, wenn man einzelne sensible Nervenstämme unterbindet und dauernden, schmerzhaften Erregungen aussetzt. In diesem Fall treten öfter beschränkte Entzündungen und Eiterungen in einem Grosshirnlappen hervor, welche auf der der ursprünglichen Verletzung entgegengesetzten Seite liegen. — Wir schliessen auf ein besonderes intermediäres Röhrensystem (intermediär zwischen verlängertem Marke und Seelenorganen [?]) daraus, dass in Folge von Zerstörung oder angebornem Mangel irgend welcher Stücke der Grosshirnlappen, vorausgesetzt, dass das Leben längere Zeit dabei bestand, immer ein theilweises Schwinden der Faserzüge beobachtet wird, die sich von ihnen aus durch die Grosshirnstämme, in die Brücke bis zu den Pyramiden erstrecken, während im Rückenmarke kein Schwinden irgend eines Stranges zu beobachten ist. — Vollkommen unklar ist es noch, warum sich bei einzelnen sog. Hemiplegien Contrakturen, d. h. dauernde Verkürzungen einzelner Muskeln, namentlich der Flexoren finden, während sie andermale fehlen; sind hier die Einflüsse muskelerschlaffender Hirnorgane vernichtet?

c. Obgleich nach theilweisen Zerstörungen der ebenfalls unempfindlichen und auf direkte Erregung keine Bewegung veranlassenden Kleinhirnhemisphären öfter einseitige mehr oder weniger ausgebreitete Lähmungen entstehen, so müssen wir doch nach der Gesammtsumme der vorliegenden Thatsachen behaupten, dass sie nicht wie die Grosshirnhemisphären weder im Ganzen noch im Einzelnen Vermittler zwischen der Seele und den Nerven sind. Diese Behauptung rechtfertigt sich vollkommen, wenn man erfährt, dass zahlreiche Fälle von fast vollkommener Zerstörung des kleinen Gehirns und sogar einer von Mangel desselben beobachtet wurden, ohne dass Empfindung und willkürliche Bewegung auch in nur einem Körpertheile fehlte. Wenn also in einzelnen Fällen neben Zerstörung des Kleinhirns Lähmungen beobachtet werden, so müssen sie demgemäss Folgen anderer begleitender Hirnveränderungen sein.

Die bekannten und oft wiederholten Versuche an Vögeln, wornach die Abtragung des kleinen Gehirns die willkürlich ausgeführten Bewegungen schwach und ungeschickt, den Gang schwankend machen, sind für die Physiologie des Menschen ganz uninteressant, da man nie etwas ähnliches nach Verletzung seines Kleinhirns beobachtete.

6. Eigenthümliche Erregbarkeitsverhältnisse im Hirn.

Alle die Erscheinungen, welche wir unter der gleichen Ueberschrift im Rückenmark beschrieben haben, finden sich auch im Hirn wieder, und namentlich zeigt sich, dass gewisse Gifte in derselben Weise hier wie dort wirken; dass trotz der Gegenwart nervöser Elemente dennoch einzelne Stücke des Hirns in keine sichtbare Erregung durch die gewöhnlichen Erreger zu versetzen sind, und endlich, dass das Verhältniss der Andauer zwischen der Erregung und der

sie einleitenden Erregerwirkung sich ähnlich wie im Rückenmark gestaltet. — Als eine Besonderheit des Hirns vor dem Rückenmark ist aber noch hervorzuheben, dass es eine eigenthümliche Art unwillkürlicher Erregungsquellen in sich führt, auf deren Betrachtung wir im Folgenden eingehen.

Selbsterregung, Automatie. Vom Hirn aus werden ohne Zuthun des Willens und ohne dass auch eine reflektorische Ursache vorläge, eine Reihe von Bewegungen erregt; wir sind darum gezwungen, noch einige besondere, Erregung erzeugende Umstände in ihm anzunehmen, die wir in Ermanglung schärferer Bezeichnung mit den obigen Namen belegen. Die besondern Erscheinungen, unter denen die Selbsterregung auftritt, sind folgende: a) Die Orte des Hirns, von welchem die automatischen Erregungen ausgehen, sind ganz beschränkt. — b) Jede automatische Erregung erstreckt sich nicht auf einen, sondern immer auf eine Zahl von Muskeln; diese Muskeln werden immer nur in einer und derselben, räumlich und zeitlich genau geordneten Weise erregt, so dass der aus ihnen hervorgehende Bewegungseffekt als ein solcher erscheint, der auf ein bestimmtes Ziel gerichtet ist; als Beispiele solcher Bewegungen dienen die Athem- und Schlingbewegungen. — c) Die Erregung stellt sich in mehr oder weniger regelmässigen Zwischenräumen wieder ein, oder sie ist, wie man sich ausdrückt, eine rhythmisch wiederkehrende. Auf die Beschleunigung, resp. die Verlangsamung des Rhythmus sind von Einfluss: der Willen, indem es diesem gelingt, den selbsterregenden Apparaten einen Anstoss zu geben, in Folge dessen die Bewegung in gewöhnlicher Reihenfolge eintritt; die eigenthümliche Stellung des Willens zu diesen Apparaten liegt darin ausgesprochen, dass es uns für einzelne automatisch bewegte Apparate, wie in denen für den Schlingakt, nicht gelingt, die Ordnung, in der die Muskeln sich zusammenziehen, umzukehren, wenn wir die Gesammtbewegung auch willkürlich einleiten können. Ferner wirkt auf den Rhythmus der Reflex, wie am deutlichsten aus den Athembewegungen sichtbar wird, welche durch Erregungen der empfindlichen Haut- und Lungennerven sehr beschleunigt werden können. Ferner übt auf die Beschleunigung des Rhythmus einen Einfluss aus eine gewisse Zusammensetzung des Blutes, indem bei Anwesenheit gewisser Stoffe (wie z. B. der Kohlensäure?) sich die Athembewegung beschleunigt, während bei Gegenwart anderer, wie des Opiums, sie sich verlangsamt. — d) Zwischen Stärke und Zeitfolge der Bewegung scheint die Beziehung zu bestehen, dass die Intensität der Erregung mit der steigenden Beschleunigung der Aufeinanderfolge abnimmt; mit andern Worten, die Bewegungen werden um so weniger kräftig, je rascher sie folgen, wie uns am deutlichsten die Athembewegungen zeigen. Eine durch die Erfahrung bestätigte Folgerung dieses Satzes besteht darin, dass die zwei aufeinanderfol-

gende Bewegungen unterbrechende Pause niemals verschwinden kann. — e) Das wirkungsvolle Bestehen der Selbsterreger knüpft sich an die Gegenwart normal zusammengesetzten Arterienblutes im Hirn; wird dieses den automatischen Hirnstellen nur kurze Zeit entzogen, so büssen sie ihre physiologischen Leistungsfähigkeiten vollkommen ein.

Diese Thatsachen, welche mehr vorübergehend als in Folge gründlicher, eigens zur Erkennung der Selbsterregung unternommener Versuche gewonnen sind, genügen begreiflich nicht, um eine Theorie der den Erscheinungen zu Grunde liegenden molekulären Veränderungen zu geben.

Die einzigen etwas genauer gekannten Orte, die der Selbsterregung theilhaftig sind, befinden sich im verlängerten Mark; sie beherrschen α) die Athembewegung*). Die Hirnstelle, welche die Athembewegungen anregt, liegt im verlängerten Mark, Legallois, unmittelbar um die Wurzelfasern des nervus vagus und der obern des nerv. accessorius. Ihre Ausdehnung beträgt der Länge nach kaum eine Linie, Flourens; sie nimmt die Dicke des verlängerten Markes nicht ein, indem man die corpora restiformia und die Pyramiden abtragen kann, ohne dass der Rhythmus der Athembewegungen beeinträchtigt wird, Longet; zugleich erstreckt sie sich nicht über die Mittellinie des verlängerten Markes, da nach einer Längsspaltung desselben die Athembewegungen noch fortdauern, Longet. Von dieser Stelle aus werden erregt das Zwerchfell, die mm. thyreoarytenoidei postici, levatores, alae narium, scaleni, levatores costarum, intercostales externi, sternocleido-mastoidei, und fast sämmtliche Schulterblatt-Rumpfmuskeln und Armheber.

Wie jeder, auch der Anfänger weiss, werden nicht bei jeder Athembewegung alle erwähnten Muskeln in Thätigkeit gebracht. Die näheren Umstände, unter denen bald eine grössere, bald eine kleinere Zahl von ihnen in den Kreis der Thätigkeit gezogen wird, sind in der Athemlehre angegeben.

β) Die Schlingbewegung*). Die automatische Erregungsstelle der Schlingnerven muss ebenfalls im verlängerten Mark gesucht werden; von ihr sind abhängig mm. stylohyoidei, styloglossi, stylopharyngei, und constrictores faucium supremi et medii.

Die Schlingbewegung tritt ebenfalls noch nach Wegnahme des kleinen und grossen Gehirns ein, selbst wenn durch Bestreichen des Gaumens keine Reflexbewegung mehr erzielt werden kann. — Das Genauere bei der Verdauungslehre.

Die auf die Seelenerscheinungen sich beziehenden Mittheilungen sind an das Ende dieses Bandes gelegt.

Die Hirnbewegung wird in der Lehre vom Blutkreislauf abgehandelt werden.

---

*) Flourens, détermination du point vital de la moëlle allongée compt. rend. XXXIII. 437. — Longet, Traité de physiologie. Paris 1850. II Vol. deux. part. p. 206.

**) Wild, Ueber die peristaltische Bewegung des Oesophagus u.s.w. Henle u. Pfeufer V. Bd. 76

C. *Sympathischer Nerv.*

1. Bestimmung seiner Grenzen; anatomische Einleitung*). — Die Anatomen definiren den n. sympathicus noch immer verschieden; die einen erklären ihn für einen mächtigen und verwickelten Plexus cerebrospinaler Nerven in dem an verschiedenen Stellen und auf verschiedene Weise Ganglienkugeln eingelagert sind, die andern setzen hierzu noch die Ergänzung, dass von diesen Ganglienkugeln zahlreiche neue Röhren ausgehen, welche entweder überhaupt oder mindestens kein sogenannt centrales Ende im Hirn und Rükkenmarke finden. Diese letzteren Anatomen sind dann geneigt, nur die neuentspringenden Röhren als sympathische zu bezeichnen. Indem wir unentschieden lassen müssen, welche von beiden Ansichten die berechtigte sei, werden wir hier die Funktionen abhandeln, welche dem n. sympathicus im weitern Wortsinne zukommen.

Die Elementartheile, welche dem nerv. sympathicus zukommen, sind: 1) Röhren von breiterem und feinerem Durchmesser; nach der berühmten Untersuchung von Bidder und Volkmann glaubte man sich berechtigt, die feinen Röhren für die dem Sympathicus spezifisch zukommenden, in ihm entspringenden ansehen zu müssen; neue Untersuchungen, welche die feinen Röhren auch als einen unzweifelhaften Bestandtheil des cerobrospinalen Systems nachweisen, haben diese Meinung sehr erschüttert und dahin eingeschränkt, dass wenn die breiten Fasern auch ausschliesslich cerebrospinal sind, die feinen wenigstens nicht ausschliesslich als sympathische angesehen werden können (Stannius, Kölliker). — 2) Ganglienkugeln in sehr beträchtlicher Zahl; diese sollen rings geschlossen zwei- und zuweilen dreistrahlig sein. Die anatomische Controverse über diesen Punkt hat sich dahin gestaltet, dass einige Anatomen die Gegenwart sämmtlicher Formen behaupten, andere nur die ringsgeschlossenen und einstrahligen, andere nur die geschlossenen und zweistrahligen als vorhanden ansehen. Der bestimmende Grund für die übereinstimmende Annahme astloser Ganglienkörper liegt darin, dass häufig die Zahl der Ganglienkörper, welche zu einem Haufen vereinigt einen Nerven umgeben, viel beträchtlicher ist, als die Zahl der zwischen ihnen verlaufenden Nervenröhren und zugleich die gegenseitige Lagerung beider Elemente eine solche, dass der Verdacht nicht entstehen kann, als ob ein Nervenrohr mehrere Ganglienkugeln durchsetze. — Die Annahme einstrahliger Kugeln gründet sich wesentlich auf die von Bidder und Volkmann entdeckte Thatsache, dass der auf der einen Seite in ein Ganglion eintretende Nervenstamm viel weniger Röhren enthält, als der austretende; die innerhalb des Ganglions demnach geschehene Faservermehrung glaubt man sich am einfachsten unter der Voraussetzung von Röhrenursprüngen aus den Ganglienkugeln erläutern zu können. Dieser Grund ist aber begreiflich nicht bindend, weil die Röhrenmehrung auch noch durch mancherlei andere, zum Theil durch die Beobachtung bestätigte Begebnisse erläutert werden kann, wie durch Theilung der Röhren, durch die Anwesenheit dreistrahliger Ganglienzellen, von denen regelmässig nur ein Fortsatz in den eintretenden, zwei andere dagegen in den austretenden Nerven verlaufen, und endlich auch durch die Gegenwart von zweistrahligen Ganglienkugeln, deren Aeste nach einer

*) Kölliker, Mikroskop. Anatomie II. a. p. 522. — R. Wagner, Bericht über die gemeinschaftl. etc. angestellte Beobachtung. Göttinger, gelehrte Anzeigen 1851. Nr. 14. — Stannius, Neurolog. Erfahrungen. — Göttinger, gelehrte Anzeigen 1851. Nr. 17. p. 235.

Seite hin dringen. Das Vorkommen einstrahliger Ganglienzellen bleibt darum so lange zweifelhaft, als man sie nicht in Präparaten nachgewiesen hat, die mittelst Methoden dargestellt sind, welche die Mängel der bisher angewendeten vermeiden. — Zur exclusiven Annahme der zweistrahligen Ganglienkugeln (neben den geschlossenen) glaubt man sich berechtigt, weil bei den Thieren, deren Ganglienhaufen wegen der Deutlichkeit der Elementartheile sich leicht zergliedern lassen, überwiegend nur zweistrahlige nachgewiesen sind; die einstrahligen, welche man bei andern Thieren sehr häufig findet, glaubt man desshalb als Kunstprodukte ansehen zu müssen, welche aus den zweistrahligen in Folge der schwierigen Präparation entstanden sind. — 3) In einigen Ganglien finden sich Körnerhaufen einer Molekularmasse. — 4) Endlich rechnet man zu den wesentlichen sympathischen Theilen die Remakschen Fasern. Ob diese beiden und namentlich die letzteren Bestandtheile in der That nervöse seien, muss so lange unentschieden bleiben, biss man dargethan, ob diese Fasern, deren Aeusseres von dem der Nervenröhren ganz abweicht, die übrigen physiologischen und physikalischen Besonderheiten der Nerven darbieten. — Die Zusammenlagerung der verschiedenen (der cerebrospinalen und sympathischen) Röhren sowohl untereinander als auch dieser mit den Ganglienkugeln schildern die Autoren nicht mit Uebereinstimmung. Die Verbindungsfäden zwischen Rückenmark und Grenzstrang sollen bald nur reine Cerebrospinalnerven sein, die als Wurzeln des Grenzstrangs vom Rückenmark ausgehen; bald aber neben diesen auch sympathische Fasern enthalten, die aus den Ganglien des Grenzstrangs entspringend in die Rückenmarksnerven einlaufen. — Neuerlichst scheint ein sicheres Mittel für die Entscheidung dieser wichtigen Frage gefunden zu sein; es gründet sich dasselbe auf die Erfahrung, dass die sensiblen und motorischen Röhren, welche von ihren Centraltheilen längere Zeit hindurch getrennt sind, atrophisch d. h. in ihrem Bau verändert werden. Durchschneidet man die Verbindungszweige des Rückenmarknerven und des Grenzstranges, oder zerstört man gar das Rückenmark, während man das Leben des Thieres erhält, so wird man aus der Lagerung der atrophischen Röhren auf die Stelle ihres Ursprung zu schliessen im Stande sein, Budge*). Schiff**), der sich dieser Methode bediente, behauptet, dass nach Zerstörung des Rückenmarks bei einer Taube alle innerhalb der erwähnten Verbindungszweige liegende Röhren atrophisch geworden seien, so dass also keine aus dem Sympathicus entspringende Röhre in diesen Verbindungssträngen laufen.

Diese Röhren laufen nun in dem Grenzstrang auf- und abwärts, meist durch mehrere Ganglien und treten dann gegen die Eingeweide; auf diesem Wege mehrt sich nun die Zahl der Röhren (wie wenigstens bei Amphibien erwiesen), ob durch Theilung oder neue Ursprünge aus den Ganglienzellen ist unentschieden.

Den Nervenröhren des Grenzstrangs und den an ihm oder seinen Zweigen liegenden Ganglienmassen verhalten sich physiologisch auch noch andere Nervenmassen sehr ähnlich. Man zählt sie darum wohl zuweilen ebenfalls zu dem sympathischen System. Hierher gehören vorzugsweise die Aeste des n. vagus in der Herzsubstanz. Die Ganglia submaxillaria, ciliaria u. s. w., die man ebenfalls hierher zu zählen geneigt war, geben dazu mindestens durch ihre physiologischen Eigenschaften keine Berechtigung. Auf diese Nerven werden wir hier nicht eingehen. —

Physiologisches Verhalten. — Im Bereiche des sympathischen Nerven wiederholen sich mit Ausnahme der auf die Seele bezüglichen Verhältnisse sämmtliche Erscheinungen des Hirns. Insbesondere führt er die drei spezifisch verschieden wirksamen Röhrengattungen; motorische, sensibel-reflektorische, absondernde; zwischen seinen Röhren theilt sich die Erregung durch Querleitung mit; die Er-

*) Budge. Neurolog. Mittheilungen. Ztschrift f. wiss. Zoolog. III. Bd.

**) Schiff über d. anatom. Charakter etc. Archiv für physiologische Heilkunde. IX. Bd. 145.

regbarkeit seiner Röhren sind eigenthümliche; seine bewegenden Röhren wirken nach besondern Combinationen und endlich enthält er selbsterregende Stellen.

1. Verbreitungsbezirke der motorischen Röhren. — Die Untersuchung, welche die Ursprünge und Verbreitungsbezirke der motorischen Röhren aufzudecken trachtet, hat mit besondern weitaus noch nicht überwundenen Schwierigkeiten zu kämpfen. Denn abgesehen davon, dass einige Thatsachen die Wahrscheinlichkeit erheben, es mögten viele Muskelnerven im Sympathicus statt einer verkürzenden eine erschlaffende Wirkung auf ihre zugehörigen Muskeln üben, — eine Möglichkeit, welche alle bisherigen Untersuchungen noch übersehen haben — stellen sich auch nachweislich folgende Hemmnisse dem Beobachter entgegen: a. die Nerven sind während des vollkommen gesunden Bestehens eines Thieres nicht immer in einem solchen Zustande, dass sie die ihnen zukommende verkürzende Wirkung einleiten können, Wild. — b. Innerhalb des sympathischen Systems finden sich automatische Einrichtungen, welche unter noch unbekannte Bedingungen selbstständige Bewegungen einleiten; treten demnach Bewegungen nach einem erregenden Einfluss auf, so kann nicht entschieden werden, ob sie von diesem letzteren oder vom automatischen Organ erzeugt worden sind. Diese Fehlerquelle ist um so einflussreicher, als man meist unter Umständen zu operiren gezwungen ist, (nach Eröffnung der Bauchhöhle u. s. w.) unter denen wahrscheinlich auch eine verbreitete Erregung der automatischen Organe eintritt. — c. Die auf eine tetanische oder momentane Erregung eines sympathischen Nerven eintretende Muskelverkürzung beginnt weder in einer bestimmten und kurzen Zeit nach der Erregung, noch schliesst sie mit derselben, noch geht sie endlich ihrem Modus parallel, indem selbst auf dauernde Erregung eines Nerven der Muskel sich wechselnd bald verkürzt, bald verlängert. Aus diesen Gründen wird der Schluss auf die Zusammengehörigkeit des Erregers und der Bewegung getrübt. — d. Die Bewegung, welche in einem Abschnitt eines zum n. sympathicus gehörenden Muskelapparates eingeleitet wurde, bleibt innerhalb desselben nicht isolirt, sondern erstreckt sich auf mannigfache Weise durch reflektorische Beziehungen weiter. Hieraus folgt, dass wir nicht mit Sicherheit angeben können, welche Muskeln direkt von diesem oder jenem Nerven abhängig sind. Diese Fehlerquelle wird um so bedeutender, da, wie sich aus c. ergibt, das Criterium im sympathischen System fehlt, durch welches sich meist in cerebrospinalen die reflektorischen von den geradezu erregten unterscheiden. — Gegen diese Uebelstände hat man, obwohl man sich ihrer mehr oder weniger deutlich bewusst war, keine Abhilfe gesucht oder gefunden, mit der einzigen Ausnahme, dass man die Bewegung der Eingeweide dem Auge sichtbar zu machen suchte, ohne dieselben zu entblössen, wodurch allerdings

die Grösse der unter b. erwähnten Fehlerquelle geschwächt wird. Mittel, die man zu diesem Behuf anwendet bestehen: in Anlegen von Darmfisteln; Blosslegung der Baucheingeweide ohne Oeffnung der Peritonäalhöhle u. s. w. — Nächst diesen Mängeln ist aber an der Methodik der bisherigen Arbeiten über unsern Gegenstand noch der zu beklagen, dass man nicht einmal den n. sympathicus nach einer strengen örtlichen Reihenfolge erregt hat, so dass man z. B. zuerst ermittelt hätte, welche Erscheinungen treten ein nach Erregung der Verbindungsäste der Rückenmarksnerven und des Grenzstranges; welche darauf nach Erregung der Aeste des Grenzstrangs, welche nach Erregung der Hauptganglien dieser Aeste u. s. w. — Nach diesen Angaben wird man auf die Unsicherheit der über den vorliegenden Gegenstand geschehenen Mittheilungen schliessen können.

Auf Erregung des Grenzstranges am Halse erfolgt Verkürzung:

α) des Radialmuskels der Pupille Petit. Biffi*). An der Richtigkeit dieser Thatsache kann kein Zweifel bestehen, da auf tetanische Erregung des Nerven tetanische Erweiterung der Pupille erscheint. Budge**) hat die Wurzeln der pupillenerweiternden Nerven des Grenzstranges bis in das Rückenmark verfolgt und dort ihren Ursprung in der Gegend des 5. bis 6. Halswirbels gefunden.

β) Verkürzung der Verengerer der Blutgefässe am Kopf. Bernard***) schliesst dieses, weil nach Durchschneiden des Grenzstranges am Hals bei Kaninchen die Haut des Gesichts dauernd eine höhere Temperatur annimmt, was allerdings auf vermehrte Blutzufuhr durch die erweiterten Gefässe hindeutet.

γ) Nach Angabe vieler Autoren soll nach Anspruch des Halstheils vom Sympathicus noch erfolgen 1. beschleunigte Zusammenziehung des Herzens; für das Kaninchen ist diese Behauptung vollkommen irrthümlich; wie ich nach einer unter meinen Augen von Weinmann angestellten gründlichen Untersuchung behaupten kann. Siehe hierüber Herzbewegungen.

δ) Verkürzung der Speiseröhre, eine Beobachtung, die aber noch sehr zweifelhaft ist.

Rückentheil des Sympathicus.

α) Auf Erregung des Grenzstranges selbst sollen in peristaltische Bewegungen kommen: das Herz, eine Thatsache die noch sehr zu bezweifeln; die Speiseröhre (?), die Verengerer der grossen Arterien (?), die Gallengänge, Valentin, Magen und Dünndarm, J. Müller

*) Valentin II. a. 424.
**) Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie III. Bd. S. 347. — Valentin, Jahresbericht für 1851. p. 173 u. f.
***) Compt. rend. 1852 Febr.

und Valentin, Uterus und Blase, Kilian*; die Wurzeln der Nerven, welche die drei letzten der genannten Organe in Bewegung sezzen, hat Kilian bis in die Medulla oblongata und spinalis auf physiologischem Wege verfolgt.

β) Auf Erregung der plexus coeliacus und mesaraicus sollen peristaltische Bewegungen im Dünndarm eintreten.

Lenden und Sacraltheil des Sympathicus.

α) Von allen Orten dieser Abtheilung soll zur peristaltischen Bewegung veranlasst werden können der ganze Darmkanal mit Ausnahme des Magens; Valentin. Kilian gibt an auch diese Wurzeln bis in den Rücken- und Lendentheil des Rückenmarks verfolgt zu haben.

β) Vom mittlern und untern Stück des Grenzstranges der Lenden soll in Verkürzung gebracht werden der Harnleiter.

γ) Vom untern Lenden und obern Sacralstück endlich Harnblase, Mastdarm, Samenleiter, Samenblase, Eileiter, Gebärmutter.

Um mit Sicherheit den Ursprung der im Rücken- und Lendentheil des Grenzstrangs enthaltenen bewegenden Nervenröhren darzuthun und um zugleich den Verdacht abzuschneiden, als ob die medulla oblongata mittelst des die Eingeweide ebenfalls beherrschenden n. vagus die Bewegung derselben bewirke, durchschnitt Kilian den n. vagus und zugleich das Rückenmark an der Grenze des Halses und der Brust und erregte dann nacheinander den Hals- und Brusttheil desselben.

Obwohl durch die Critik der Methoden den hier vorgeführten scheinbar so reichhaltigen Thatsachen schon ihr wahrer Werth angewiesen ist, so scheint es dennoch pflichtgemäss noch einmal besonders der Erwägung zu übergeben, dass die Bewegung, welche auf Erregung des vom Halstheil abwärts liegenden Grenzstranges erfolgt, niemals momentan oder auch nur sehr kurze Zeit nach dem Beginn derselben, ja häufig erst nach dem Schluss einer länger dauernden Einwirkung der electrischen Schläge erscheint, und ferner dass namentlich die Bewegung der Baucheingeweide, welche nach Eröffnung der Bauchhöhle spontan auftritt, in vollkommenster Ausbildung erscheint, wenn die Erregbarkeit des Rückenmarks abgeschlossen oder ganz vernichtet ist. Beide Thatsachen können die Deutung erfahren, dass alle oder ein Theil der vom Rückenmark zu den Ganglien zweiter Ordnung sich erstreckende Röhren zu den bewegungshemmenden zu zählen seien.

2. Verbreitungsbezirke der empfindenden und reflektorischen Nerven. — Die vom n. sympathicus versorgten Regionen sind mit Empfindungen begabt; diese Empfindungen treten im gesunden

*) Henle u. Pfeufer. Neue Folge. 2. Bd. pag. 1 u. f.

Leben nicht mit Lebhaftigkeit hervor, sie steigern sich erst zu einer merklichen bis zur Schmerzhaftigkeit gehenden Höhe dann, wenn sehr heftige Bewegungen (Durchfall, Blähungen, Geburtswehen) oder krankhafte Ernährungserscheinungen in den Eingeweiden statt haben. — Diese Empfindungen zeichnen sich ferner dadurch aus, dass sie nicht das Gefühl einer bestimmten Oertlichkeit erwecken. Aus Krankheitserscheinungen und quetschenden Unterbindungen der Nerven von Säugethieren ergibt sich, dass die Nerven des Peritonäums, der Leber, des plex. coeliacus und der Nieren empfindungerregende Röhren enthalten. Von welchen Rückenmarksstellen diese Nerven entspringen und welchen Verlauf sie nehmen ist nicht ermittelt worden.

Man glaubt sich berechtigt ausser diesen, bewusste Empfindungen erregenden Nervenröhren, auch noch besondere reflektorische, aber nicht Empfindung erzeugende, annehmen zu dürfen. Die Gründe hierfür findet man in der Thatsache, dass öfter Bewegungen, welche den Charakter der reflektorischen tragen in den Muskeln der Eingeweide zu Stande kommen, ohne dass diese von Empfindungen begleitet werden.

3. Verbreitungsbezirk der Absonderungsnerven. Man findet es wahrscheinlich, dass einzelne Drüsen, namentlich das Pancreas, die Nieren und die in das vas deferens eingelegten Schläuche ihre Säfte unter dem Einfluss der Nerven bilden. Da in diese Drüsen nun in der That aus dem sympathischen Systemen Nerven eintreten, so glaubt man sich berechtigt ihnen jene hypothetische Funktion zuschreiben zu dürfen. Ueber den Werth dieser Vermuthungen soll bei den betreffenden Organen eines Weiteren die Rede sein.

4. Mittheilung der Erregung zwischen den einzelnen Bestandtheilen des sympathischen Systems und denjenigen des sympathischen und cerebrospinalen.

Reflexbewegung. Sie erscheint a. zwischen den sensiblen sympathischen und motorischen cerebrospinalen Röhren, wie die Erscheinungen des Erbrechens, der Kothentleerung u. s. w. darthun. Nach Versuchen an Fröschen, Pickford*), liegt der reflektorische Herd in der medulla oblongata. Ein genaueres Studium der Bahnen ist noch nicht vorgenommen — b. Als Reflexe von sensiblen cerebrospinalen auf motorische sympathische Röhren deutet man die Bewegung des vas deferens (?) und der Samenbläschen bei der Samenjakulation, die Darmbewegung nach Kitzel am After u. s. w. — c. Die Erscheinungen endlich, welche man als reflektorische innerhalb des sympathischen Systems, von einem zum andern Rohr auffasst, sind besonders darum noch unklar, weil sie sich nicht nach Belieben herstellen lassen, indem nur zeitweise der Darm, die Geschlechtswerkzeuge u.

*) Roser u. Wunderlichs Archiv. II. Bd.

s. w. sich in sogenannter reflektorischer Disposition finden. Aus diesem Grunde bleibt es in der That zweifelhaft, ob im reinen Gebiete des n. sympathicus Reflexe eintreten; dieser Zweifel wird sehr gestützt durch die anderweitige Betrachtung, dass alle Thatsachen aus denen man den Reflex ableitet auch noch andere Deutungen erfahren können. Zu den Beispielen, welche man gewöhnlich als Beweisse der Gegenwart reflektorischer Leistungen im Kreise des n. sympathicus vorführt, zählen: dass nach einer lokalen Einwirkung von Erregern auf das peritonäum oder auf die Darmschleimhaut verbreitete Bewegungen in den Darmmuskeln u. s. w. eintreten. Diese Thatsachen würden hier einen dem Reflex analogen Vorgang aber nur dann wahrscheinlich machen, wenn eine Sicherung vorläge, dass die eben erwähnten Erreger ausschliesslich nur solche Nervenröhren getroffen hätten, welche nicht geradezu mit Muskeln in Verbindung stehen; dazu kommt, dass herausgeschnittene Stücke eines Darmes, dessen Nerven untereinander nur noch mittelst der Stämme in Berührung sein können, unter günstigen Umständen ebenfalls auf ganz lokale Einwirkung in eine successiv fortschreitende und sich wieder lösende Zusammenziehung verfallen, in eine Bewegung die alle äusserlichen Charaktere der reflektorischen darbietet.

Mitempfindung, Mitbewegung. Die Thatsachen, welche man unter dieser Aufschrift aus dem Bereich der Wirkungen des n. sympathicus vorführt, sind sehr vager Natur. Nach Leiden der Leber und des Colons, Blähungen u. s. w. treten Schmerzen in der Schulter, bei Gegenwart von Eingeweidewürmern Jucken in der Nase auf u. s. w. Was soll, vorausgesetzt selbst dass ein constanter Zusammenhang zwischen jenen Affektionen und diesen Schmerzen besteht, den Beweiss liefern, dass er durch eine unmittelbare Uebertragung der Erregung von diesem zu jenem Nervenrohr geschehe?

5. Verhältniss der Zeiten zwischen der Andauer der Erregerwirkung und der durch sie im sympathischen System veranlassten Bewegung. Da sich sämmtliche sympathische Nerven in glatte Muskeln begeben, so wird ein momentan wirkender Erreger immer eine allmählig steigende und sich allmählig lösende Muskelverkürzung veranlassen; ausser dieser von der Muskeleigenthümlichkeit herrührenden Erscheinung, welche hier, wo es sich um Nervenwirkungen handelt, nicht besonders erörtert werden soll*), ist aber die andere hervorzuheben, dass nach einer tetanischen sowohl als einer momentanen Erregerwirkung eine rhythmische Bewegung in den normalen sympathischen Nerven auftritt, mit andern Worten der einmal in Verkürzung gebrachte Muskelort erschlafft, verkürzt sich dann von Neuem, erschlafft wiederum u. s. w. — Der einzige Unterschied der

*) Siehe hierüber in der allgemeinen Muskellehre die glatte Muskelfaser.

hier zwischen tetanischer und momentaner Erregung besteht, liegt darin, dass nach tetanischer Erregung die rhythmische Bewegung statt der erwarteten tetanischen Verkürzung immer zum Vorschein kommt, während die momentane Erregung häufig auch nur eine einzige Zusammenziehung zum Gefolge hat; — bei grösserer Erregbarkeit und intensiven Erregern scheint der Rhythmus ein beschleunigterer zu sein als bei entgegengesetzten Verhältnissen.

Diese Erscheinung bemerkt man sehr häufig auch noch in kleinen Stücken der vom sympathischen Nerven beherrschten Muskelapparate, in denen man beiläufig auch nach genauester mikroskopischer Zergliederung keine Ganglien wahrnehmen kann; w. z. B. am Schlund der Hühner.

6. Verkettung der Einzelbewegungen zu einer zusammengehörigen Reihenfolge von Bewegungen. Wenn in einer der grösseren, funktionell zueinander gehörigen Abtheilungen, welche im sympathischen System enthalten sind, während eines höhern Erregbarkeitsgrades derselben eine Bewegung eingeleitet wird, so beschränkt sich meistentheils die Zusammenziehung nicht auf die Oertlichkeit, in welcher sie zuerst auftrat. Dieses Umsichgreifen der Zusammenziehung geschieht nach zwei verschiedenen Weisen, und zwar entweder wie im Harn-, im Eileiter, dem Fruchthalter und auch häufig im Darm nach dem sogenannten peristaltischen oder wie gewöhnlich im Darm nach dem sogenannten pendulirenden Modus. Im ersteren der beiden verbreitet sich nach einer Richtung hin die Verkürzung von der ursprünglich ergriffenen auf unmittelbar angrenzende Stellen, während sie, nachdem dieses geschehen, sich von den ursprünglich ergriffenen zurückzieht. Diesem gemäss geräth auf Veranlassung einer örtlichen Erregung die gesammte Muskelsubstanz einer der angegebenen Canäle nach einer zeitlichen Reihenfolge in Zusammenziehung, in der Art, dass gleichzeitig jedesmal nur ein kleiner begrenzter Abschnitt sich in dem bezeichneten Zustand befindet. Die Richtung in welcher diese Bewegung fortschreitet geht immer von oben nach unten also vom Magen, Nieren, Eierstöcken nach dem After, der Blase, der Scheide. — Im pendelnden Modus schreitet die Verkürzung nicht continuirlich sondern sprungweise fort, so dass die der Zeit nach aufeinander folgenden Zusammenziehungen örtlich nicht unmittelbar aneinander grenzen, sondern an Stellen vor sich gehen, welche durch ruhige Stücke von einander getrennt sind. Gewöhnlich kehrt im pendelnden Modus jede Einzelbewegung rhythmisch, d. h. nach einiger Zeit, wieder, so dass das ruhige zwischen den zusammengezogenen Stellen liegende Stück wie ein Pendel bald nach dieser und bald nach jener Seite geführt wird.

7. Automatische Erregung. Die bewegungserzeugenden Nerven des sympathischen Systems gerathen in Erregung selbst dann noch, wenn keines der Mittel, welche wir als Erreger kennen lernten, nach-

weislich auf sie einwirkt, und sogar noch dann, wenn sie vom Hirn und Rückenmark getrennt sind. Die durch diese automatische Erregung veranlassten Bewegungen sind nicht allein rhythmische, sondern auch regelmässig verkettete. Das Vermögen, automatische Bewegungen einzuleiten, ist innerhalb der nervösen Apparate nicht zu jeder Zeit, sondern nur mit Unterbrechungen vorhanden. Diese Pause, meist noch besonders bemerkenswerth, weil während derselben vom Nerven aus durch die bekannten Erreger keine Bewegungen eingeleitet werden können, ist an den verschiedenen Organen von sehr wechselnder Dauer. Am Darm scheint nur einigemal des Tages die Zeit automatischer Erregung einzutreten; Schwarzenberg*), während des Bestehens dieser automatischen Erregungsperiode erfolgt jedoch nicht nur eine, sondern in kürzeren aufeinanderfolgenden Pausen mehrere Bewegungen des Darms. Am Ureter kehren dagegen die automatischen Bewegungen, ähnlich der Herzbewegung, nach kurzen Pausen regelmässig wieder und man bemerkt in gleicher Zeit eine grössere Zahl, wenn die Menge des abgesonderten Urines steigt. Wie sich die Tuben und der Uterus verhalten, ist unbekannt.

Die veranlassenden Momente dieser Erregung können, ganz allgemein betrachtet, ebensowohl darin bestehen, dass in Folge bestimmt angeordneter Ernährungsverhältnisse die Erregbarkeit der Nerven einem periodischen Steigen und Sinken unterworfen ist, so dass in dem eintretenden Maximum der Erregbarkeit nun schon sehr schwache, unserer Aufmerksamkeit entgehende Erreger die Veranlassung zur Auslösung der Kräfte geben; oder es können bei gleichbleibender aber spezifischer andern Nerven nicht eigenthümlicher Erregbarkeit zu gewissen Zeiten im Blutkreislauf sich ganz besondere Erreger bilden; oder endlich es können durch den Stoffwechsel in dem Nerven selbst Veränderungen eintreten, welche unmittelbar die Zustände der Erregung darstellen u. s. w.**). Zudem können diese erregenden Momente sich auf dem ganzen Verlauf des Nerven oder nur in irgend welchen Abschnitten desselben entwickeln. Diese letztere Meinung erfreut sich gegenwärtig zahlreicher Anhänger, welche als den besondern Sitz der sich bildenden Erreger, die im sympathischen System enthaltenen Ganglienkugeln ansehen. Diese Meinung gründet sich vornehmlich auf die Beobachtung, dass nach Durchschneidung der wesentlichen zu den Darmnerven gehörigen Ganglien die automatischen Erregungen ausbleiben. Dieser Versuch würde beweisskräftig sein, wenn es gelänge, die Durchschneidung der Ganglienkörper vorzunehmen, ohne dass man noch anderweitige Verletzungen einführte, wie das bei dem jetzigen Verfahren geschieht. — Zu der Annahme, dass die Ganglien die Erreger seien, fügt man gewöhnlich noch eine weitere, die nämlich, dass eine grössere Zahl von zusammengehäuften Ganglienkugeln jedesmal in einer innigen Beziehung zu einander stehen und dass diese zusammengeordnete Nervenmasse auch jedesmal einen zusammengehörigen Muskelapparat beherrsche. Diese hypothetischen Organe nennt man die Centralorgane der Eingeweide. — Da sich die automatischen Bewegungen der Harn-, Geschlechts- und Verdauungswerkzeuge unabhängig von einander gestalten, so schreibt man endlich jeder Organgruppe ein Centralorgan zu.

---

*) Henle u. Pfeufer. VII. Bd.

**) Siehe hierüber auch die Beobachtungen von Schiff, wonach Compression der Aorte die automatischen Organe des Unterleibs erregen soll — Froriep, Tagesberichte 1851. Nr. 327.

Die Einpflanzung von Bedingungen zur Erzeugung von geordneten Bewegungen im sympathischen System ist für die Lebensvorgänge insofern von Wichtigkeit, als die von ihnen angeregten Organe bis zu einem gewissen Grade unabhängig vom Hirn und Rückenmark werden. Die Ueberzeugung von der Wahrheit dieser Behauptung ist uns durch eine sehr bemerkenswerthe Versuchsreihe, welche Bidder*) anstellte, zu Theil geworden. Er zerstörte bei einigen Fröschen das Hirn, bei anderen das Rückenmark, bei noch andern das verlängerte Mark oder endlich gleichzeitig Hirn und Rückenmark; nach dieser Operation gingen die Akte der Verdauung und namentlich die Weiterschaffung der Darmkontenta, des Harnes u. s. w. noch längere Zeit ungestört vor sich.

5. Stellung der bewegenden Nervenröhren des n. sympathicus zum Willen und zu andern erregenden Hirnstellen. Kein Theil des n. sympathicus ist dem Willen unbedingt unterworfen; in dem Zustande leidenschaftlicher Erregung ist dagegen die Seele vermögend, einen beträchtlichen Einfluss auf die meisten, wenn nicht alle motorischen Fasern des n. sympathicus zu üben. Dieser Einfluss, welchen die Seele in der Angst, dem geschlechtlichen Verlangen u. s. w. gewinnt, unterliegt mehreren Beschränkungen; zu diesen gehört, dass ein und dieselbe Leidenschaft nicht beliebig jeden, sondern immer nur einen und denselben oder höchstens wechselnd zwei Bewegungsapparate in Erregung zu bringen vermag, so dass, wie die Leidenschaften in den Gesichtsmuskeln, sie somit auch in dem Bereich des sympathischen Systems ihren bestimmten Ausdruck finden. Eine andere Besonderheit in der Beziehung zwischen leidenschaftlich erregter Seele und dem sympathischen Bereich liegt darin, dass die erstere einen Apparat, auf den sie einmal einwirkt, immer nur in seiner Gesammtheit und in seinem Bewegungstypus erregt, so dass die leidenschaftliche Erregung sich weder auf einzelne Stücke zu beschränken, noch auch die gewöhnlich in ihm vorkommende Reihenfolge der Bewegungen umzudrehen vermag. An eine Theorie dieser Erscheinungen kann natürlich gar nicht gedacht werden.

Die Kürze der vorstehenden Darstellung des sympathischen Systems findet ihren Grund weder darin, dass eine zu geringe Menge von Versuchen über den n. Sympathikus angestellt ist, noch auch darin, dass man wenige Meinungen über die Funktionen des Sympathikus ausgesprochen hat; im Gegentheil, die Litteratur über den n. sympathikus gibt an Stattlichkeit keiner andern nach; so dass, wollte man auch noch so kurz ihren wesentlichen Inhalt wiedergeben, man leicht einen

*) Müllers Archiv 1844. Erfahrungen über die funktionelle Selbstständigkeit u. s. w. Aehnliche Beobachtungen an Schildkröten, Fröschen und Tauben haben Brown-Sequard. Compt. rend. Tom. XXX. (Gazette medicale 1851, Nr. 26 u. 30) und Schiff angestellt, die aber nichts Neues über diesen Gegenstand lehren.

Band füllen könnte. Aber, was würde man erreicht haben? Nichts anderes als die Erzählung mangelhaft angestellter Versuche und die Angabe von luftigen oder dilettantenhaften Schlüssen. Das Bestreben eines Lehrbuchs scheint vorerst dahin gehen zu müssen, mehr die gröbsten Irrthümer zu meiden, als alle veröffentlichten Thatsachen vorzulegen.

D. *Der Gesichtssinn.*

Die Grundbedingung dieses Sinnes ist gegeben durch die Gegenwart des nervus opticus, der seine Erregungszustände als Licht zur Empfindung bringt; unser Sinn dehnt aber seine Wirksamkeit über die engen Grenzen der Lichtempfindung weit aus, denn er unterscheidet auch, ob derjenige seiner Erreger, welchen die Physiker Aetherwellen nennen, von Punkten oder Flächen ausgeht, und in welcher Richtung und Entfernung vom Auge diese leuchtenden Orte gelegen sind u. s. w. Diese weiteren Funktionen sind eine Folge der brechenden und spiegelnden Flächen und Medien und der Beweglichkeit des Gesammtauges oder einzelner seiner Theile gegeneinander. —

Diesen Thatsachen gemäss wird unsere Darstellung zuerst die Leistungen der Muskeln, des dioptrisch katoptrischen Apparates und der Nerven für sich und dann diejenigen zu betrachten haben, die aus den gegenseitigen Beziehungen jener Organbestandtheile fliessen.

Aeussere Bewegungswerkzeuge des Auges.

Die Bewegungen des Auges, die durch den äusseren Muskelapparat desselben ausgeführt werden können, sind entweder Bewegungen des Augapfels im Ganzen, und zwar sowohl Drehungen um einen festen Mittelpunkt, als Ortsveränderungen des Augapfels mit Verschiebung des Mittelpunktes, oder aber Bewegungen einzelner Theile des Augapfels gegeneinander, Formveränderungen desselben.

Die Bewegungen des Auges im Ganzen sind gleichzeitig als Dreh- und Ortsbewegungen möglich, weil die an dem hintern Umfang des Augapfels liegenden Massen für sich eine hinreichende Steifigkeit besitzen und an den Augapfel locker genug angeheftet sind, um bei bestimmten Arten des Zugs, die auf den Augapfel wirken, unverrückt zu bleiben und zugleich als Widerlage für die Sclerotica zu dienen, und andererseits doch nicht steif genug, um nicht bei anderen Verhältnissen der auf das Auge wirkenden Züge verrückt zu werden. Die Eigenthümlichkeit der Gesammtbewegung des Auges lässt sich also dahin ausdrücken, dass das Auge in einer Gelenkpfanne gehe, welche selbst verschiebbar ist. —

1. Drehbewegungen *).

a) Gelenkkopf, Gelenkgrube, Bänder. Der Gelenkkopf wird durch die hintere Fläche der Sclerotica gebildet, welche wahrscheinlich nach einem Kugelabschnitt gekrümmt ist; als Gelenkgrube dient das Fettpolster, welches die orbita ausfüllt; wie man sieht, verdient dieses Polster nur insofern den Namen einer Gelenkgrube, als sich in der That an der Grenze des Fettes und der Sclerotica eine freiere Verbindung vorfindet. Als Bänder, welche theils hemmend, theils richtungsbestimmend auf die Bewegung wirken, sind anzuführen, der federartig gestellte n. opticus, die Conjunctivafalte, die sich aufrollenden Augenmuskeln, einige von der Scleroticafläche zum umliegenden Fettpolster gehende Gefässe und Bindegewebsstränge. Eine genauere Angabe der Wirkungen dieser Gebilde, und namentlich den Werth der Hemmung, den sie den Bewegungen entgegenstellen, lässt sich nach vorliegenden Untersuchungen nicht geben.

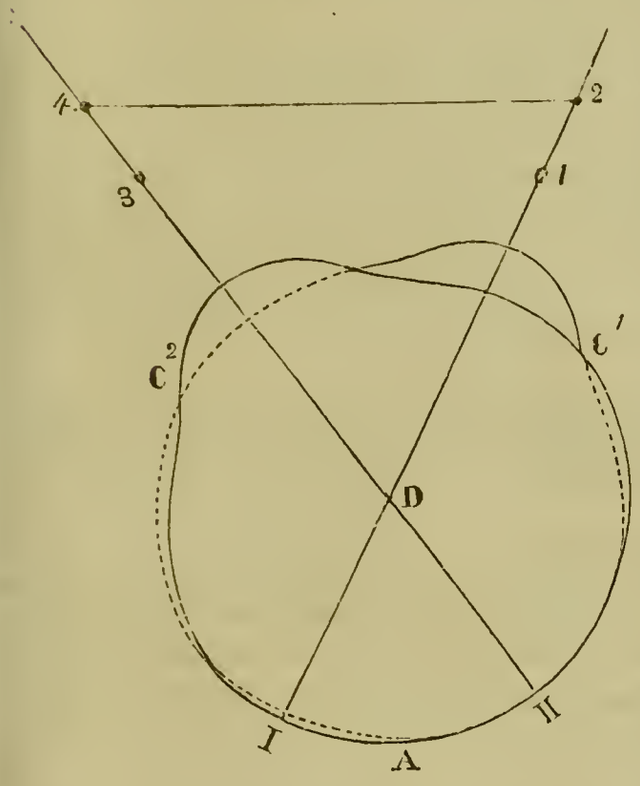
Der Drehpunkt des Gelenkes liegt nach Bestimmungen von Volkmann in der Mitte der Sehachse, d. h. einer Linie, welche man vom Scheitel der cornea gegen den Mittelpunkt des gelben Fleckes sich gezogen denken muss.

Die empirische Bestimmung des Drehpuncts am lebenden Auge wird möglich, weil wir bei jeder beliebigen Stellung dieses letztern die Richtung der Sehachse anzugeben vermögen. Dieses gelingt darum, weil wir, wenn wir einen leuchtenden Punkt scharf betrachten (visiren), das Auge so stellen, dass das Bild des Punktes auf die Berührungsstelle von Retina und Sehachse fällt, und weil alle Objecte, die auf der Verlängerung der Sehachse im Raume liegen, ihre Bilder sämmtlich auf diese Berührungsstelle werfen, so dass von zweien in der Richtung der Sehachse liegenden Punkten der dem Auge nähere immer den dem Auge ferneren deckt. Daraus folgt, dass man für jede beliebige Stellung des Auges die Richtung der in dem Raume verlängerten Sehachse bestimmen kann, wenn man einen leuchtenden Punkt scharf visirt und zwischen ihn und das Auge einen andern in eine solche Lage bringt, in welcher er den erstern deckt. Bestimmt man bei festgestelltem Kopf in mehr als zwei von einander abweichenden Augenstellungen die Richtungen der Sehachse und verlängert dann sämmtliche Linien nach ihrer convergirenden Richtung, so schneiden sie sich in einem Puncte, woraus ohne Weiteres folgt, dass die Visirlinie ein Radius sei, der um diesen Punct bei den verschiedenen Augenstellungen gedreht wird. — Aus diesen Angaben folgt für die Bestimmung des Drehpunkts in jeder Ebene am lebenden Auge nun sogleich folgendes Verfahren, welches in Fig. 29 versinnlicht ist. Man bringe vor das Auge, der höchsten Erhabenheit der Cornea gegenüber, eine horizontale oder senkrechte Tafel und visire unter der entsprechenden Augenstellung nach einem leuchtenden Punkte 2 (z. B. einer Nadelspitze), führe darauf einen zweiten leuchtenden Punkt 1 vor den ersten bis er diesen genau deckt; dasselbe vollführe man bei festgestellten Kopfe aber einer andern Augenstellung mit

*) Tourtual, Beobachtungen an einem Auge mit einer seltenen Difformität. Müllers Arch. 1846. — Volkmann, Artikel Sehen in Wagners Handwörterbuch III. a. — Donders Beitrag zur Lehre von den Bewegungen des menschl. Auges. Holländ. Beiträge I. 105. — Ruete, Lehrbuch d. Ophthalmologie. Göttingen 1845. p. 8. — Bernh. Gudden quæstiones de motu oculi humani. Diss. inaugur. Hall. 1848.

den Punkten 4, 3 und messe hierauf den Abstand des Punktes 3 oder 1 von der höchsten Erhabenheit der Cornea. — Da 1, 2 und 3, 4 je zwei Punkte auf der Sehachse für die verschiedenen Lagen des Auges darstellen, so kann man sogleich die Linien 2, 1, I. und 3, 4, II ziehen, welche sich in *D* dem Drehungspunkte des Auges schneiden. Kennt man die Entfernung, in welcher sich 3 vom Auge befand, so ist damit auch der Abstand *D* von der höchsten Hornhauterhabenheit gegeben.

Fig. 29.



Die Mittel, welche bei den bis jetzt unternommenen Messungen von Volkmann, Burow, Valentin in Anwendung gebracht sind, nähern sich jedoch nur sehr entfernt der möglichen Genauigkeit an; indess fand man übereinstimmend, dass der Drehpunkt 11,0 bis 14,1 M. M. von der vordern Hornhautfläche entfernt liege, woraus der im Text gegebene Schluss über die Lage des Drehpunktes allerdings scheint abgeleitet werden zu dürfen, da die halbe Länge der Sehachse (die hintere Augenwand mitgerechnet) bekanntlich 11,9 M. M. im Mittel beträgt.

b. Augenmuskeln. Man nimmt an, dass alle Augenmuskeln in ihrer normalen Länge befindlich seien, so dass keiner von ihnen ziehend auf den bulbus wirke, (Ruhestand des Auges, Nullpunkt der Bewegung) wenn die Irisfläche senkrecht gegen den Boden und zugleich parallel mit der senkrecht gerichteten Angesichtsfläche gestellt ist; zur vollkommenen Bestimmung der Augenstellung fehlt dieser Angabe, wie ersichtlich, noch ein Zusatz über die Lage eines Punktes auf der Peripherie des Iriskreises zu einem beliebigen Theile des Gesichts. Weicht von dieser Lage das Auge so ab, dass sich die Ebene der Iris senkrecht gegen den Boden erhält, sich dagegen unter irgend einem Winkel mit der Antlitzebene, deren Lage man sich unverändert denkt, schneidet, so ist das Auge ein- oder auswärts gedreht; in diesem Fall behält die Sehachse ihre horizontale Lage, weicht aber mit ihrem freien in den Raum hineinragenden Ende gegen die Nase (Einwärtsdrehung) oder das Ohr (Auswärtsdrehung) hin ab. Das Auge ist erhoben oder gesenkt, wenn die Irisfläcke ihre senkrechte Richtung gegen den Boden aufgegeben hat; hierbei ist die Sehachse gegen den obern (Aufwärtsdrehung) oder den untern (Abwärtsdrehung) Augenhöhlenrand gerichtet. Erhält sich endlich die Ebene der Iris parallel zur Gesichts- und senkrecht zur Bodenfläche, dreht sie sich aber so, dass einem beliebigen Punkte der Orbita immer andere Punkte der Irisfläche gegenübertreten, während

die Lage der Sehachse ungeändert bleibt, so hat man das Auge gerollt; und zwar geschah das Rollen einwärts, wenn ein Punkt der Irisperipherie, der bisher über dem innern Augenwinkel lag, unter denselben geführt wurde, während beim Auswärtsrollen das Auge entgegengesetzt läuft. —

Diese Bewegungen sollen nun abhängig sein von den Muskeln in folgender Art: aufwärts: m. rectus superior. m. obliq. inferior; — abwärts: m. rectus inferior, m. obliquus superior; — einwärts m. rectus internus, m. rectus superior; m. obliquus inferior (?); — auswärts m. rectus externus, m. obliq. superior; — einwärts rollend m. obliquus superior u. rectus superior (?); — auswärts rollend m. obliquus inferior u. rectus inferior (?). —

Die Beobachtungsmethode, auf welche sich diese Angaben gründen, sind die zur Bestimmung der Muskelwirkung gebräuchlichen. — Siehe die besondere Muskellehre.

Wer nun aber auch nur mit den ersten Anfängen der Mechanik vertraut ist, wird das Ziel, nach dem die obigen Angaben, welches die gebräuchlichen sind, ringen als ein sehr unvollkommenes ansehen müssen. Um dem Anfänger einen Begriff von dem Problem, welches in den Augenmuskeln vergraben ist, und von seiner Lösung zu geben, wollen wir in Folgendem eine Zergliederung eines ganz einfachen Falles vornehmen.

Um zu einer Bestimmung des Nullpunktes, der Grösse und Richtung der Bewegung zu gelangen, nehmen wir an, es sei ein doppeltes rechtwinkliges Coordinaten-System durch das Auge gelegt, deren gemeinschaftlicher Nullpunkt in den Drehungspunkt des Auges fällt, und die sich nur darin unterscheiden, dass das eine in der Orbita als feststehend angesehen wird, während das andere mit dem Auge beweglich ist, so dass in der Ruhelage des Auges die zu beiden Systemen gehörigen Achsen zusammenfallen. — Die Achsen selbst werden aber gegeben durch folgende Bestimmungen. Die Richtung der Querachse sei dargestellt durch die Verbindungslinie der Drehungspunkte beider Augen; die Tiefenachse durch die Sehachse, wenn beide Augen nach Vorwärts stieren; die Höhenachse schneide in der Richtung vom Scheitel zur Fusssohle den Schnittpunkt der beiden vorhergehenden in ihrer horizontalen Lage senkrecht. — Denken wir uns nun, wie angegeben, das eine System feststehend, das andere mit den Augen beweglich, so würde jetzt offenbar jede Augendrehung ihre Grösse und Richtung nach mit aller Schärfe durch die Winkel ausgedrückt werden können, welche die Achsen beider Coordinatensysteme miteinander bilden. Um die aus diesen Bestimmungen hervorgehenden Angaben praktisch brauchbar zu machen, müssten an den sichtbaren Theilen der Orbita und des Augapfels Kennzeichen gesucht werden, deren Bewegung sich in einer bestimmten Relation zu derjenigen der Achsen fänden und hierzu könnte ein Theil der gewöhnlichen Bestimmungen benutzt werden.

Die Wirkung, welche einem Augenmuskel zukommt, ist sehr verschieden, je nachdem er allein ohne jegliche weitere Bestimmung das Auge dreht, oder je nachdem sich noch andere Umstände, wie z. B. Widerstände der Bewegung, gleichzeitige Wirkungen anderer Muskeln u. s. w. einmengen. — Zu unserer Zergliederung wählen wir nun zunächst den einfachsten Fall den, dass auf das Auge nur ein Muskel wirke, während gar keine Widerstände sich der Drehung entgegenstellen; wenn auch dieser Fall in der That niemals vorkommt, so ist er dennoch von Bedeutung, weil die Kenntniss dieses einfachsten der aller übrigen vorausgehen muss. — Da die Muskeln Werkzeuge sind, welche in der Richtung ihrer Fasern ziehen, so ist es zur Lösung

aller der Fragen, welche sich bezüglich seiner Wirkung aufwerfen lassen, nöthig zu wissen: wie die Ansatz- und Endpunkte aller Fasern des Muskels zu den Achsen der vorbeschriebenen Coordinatensysteme gelagert seien, wieviel Fasern resp. welchen Querschnitt der Muskel besitze und welche Länge jeder Faser zukomme. Aus diesen Angaben liesse sich zunächst bestimmen die resultirende Wirkung, welche aus sämmtlichen einzelnen zu dem Muskel gehörigen Fasern hervorginge. Ueber die Bestimmung dieser Resultirenden siehe die besondere Muskellehre. Wir wollen annehmen, es sei diese Resultirende gefunden worden, wobei sich ergeben habe, dass sie genau in eine der Ebenen falle, welche durch zwei Coordinatenachsen bestimmt werden; dann würde das Problem folgende Gestalt gewinnen, siehe Fig. 30. In ihr bedeutet der Kreis einen Augendurchschnitt, der bestimmt wird durch den Drehpunkt *D* und die Coordinatenachsen *x* und *y*. Die Resultirende des Muskels *M'*, deren Ursprungspunkt bei *U* liegt, greift das Auge bei *A'* an. Gesetzt nun, die Linie *M'*, welche die Resultirende vorstellt, sei nach einem Längenmaass getheilt, in der Art, dass ihre Länge die Gesammtkraft der Resultirenden bedeute, so lässt sich mittelst des Parallellogramms der Kräfte *M'* in zwei andere Kräfte zerlegen, aus denen sie nach Richtung und Kraft hervorgegangen sein könnte. Man bewerkstelligt diese Zerlegung für unsere Zwecke am besten dadurch, dass man die eine Kraft in die Verlängerung des Radius *A' D* und die andere *A' F* senkrecht auf den Radius legt. Da der Voraussetzung nach der Drehpunkt *D* unverrücklich ist und jeder Punkt der Augenperipherie an seine Umgebung hinreichend festgeheftet ist, um durch einen Muskelzug nicht aus dem Zusammenhang mit derselben gelöst werden zu können, so wird jeder in der Richtung *A' D* wirkende Zug durch den Widerstand der Cohäsion und der Mittelpunktsbefestigung aufgehoben. Umgekehrt aber wird die auf den Radius senkrecht wirkende Zugrichtung *A' F*, die am Kreis tangirende, zur vollkommenen Wirksamkeit gelangen, da gerade darum, weil der Kreiss nur um den Mittelpunkt drehbar ist, die einzelnen Punkte der Pheripherie nur nach der Tangente beweglich sind. Demnach wird der Antheil der Gesammtkraft des Muskels, welcher bei der gegebenen Lage der Resultirenden zur Augendrehung verwendet werden kann, durch die Linie *A' F* ausgedrückt. Mit diesem Werth ist die Resultirende aber in Wahrheit nur so lange wirksam, als das Auge die bezeichnete Stellung behält; denn wäre z. B. diese Stellung dahin verändert, dass nun der Resultirenden die Lage *U A''* zukäme, so würde ihr Gesammtzug in der Verlängerung des Radius *A'' D* wirksam sein und darum würde er, vorausgesetzt, dass der Punct *A''* durch Cohäsion mit dem Mittelpunkte hinreichend befestigt wäre, gar keine Bewegung erzeugen. Befände sich aber umgekehrt die Resultirende in der Lage *U A'''* d. h. läge sie in der Verlängerung der Tangente, so würde sie nun ihre Gesammtkraft auf die Drehung verwenden. Sehr wahrscheinlich ist nun am Auge in der That der Resultirende aus den einzelnen Muskelfasern diese letztere Lage zugehörig und zugleich scheint der Muskelsehne eine solche Einrichtung zu Theil geworden zu sein, dass während des ganzen Raumes, um welchen sich ein Augenmuskel überhaupt verkürzen kann, der Ansatz diese Stellung behält. Die-

Fig. 30.

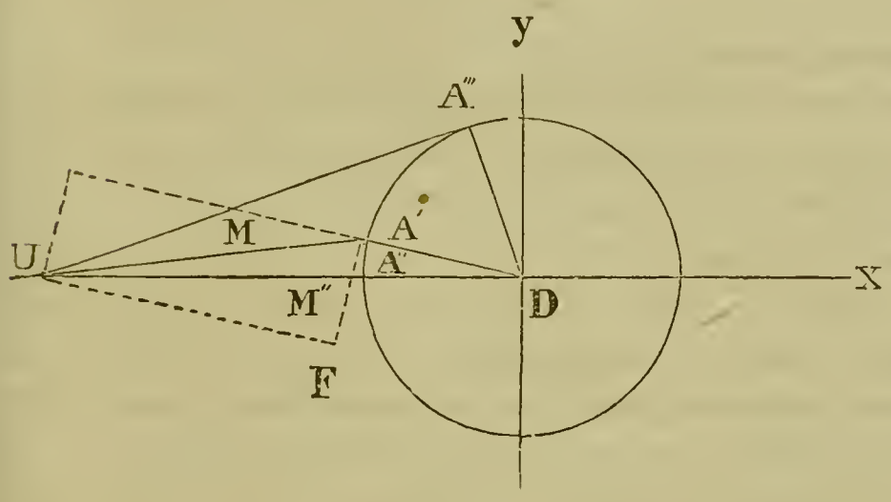
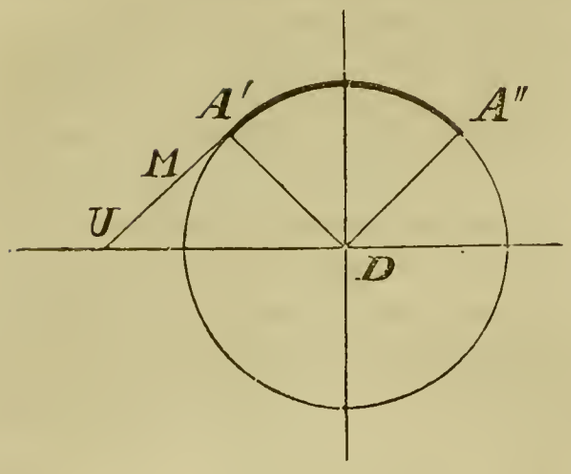


Fig. 31.



ses ist (Fig. 31) dadurch erreicht worden, dass die Sehne des Muskels *U* nicht an ihren ersten Berührungspunkt *A'* mit dem Auge an letzteres sich anheftet, sondern noch ein Stück z. B. bis *A''* über das Auge greift. Bei dieser Art von Verbindung zwischen Auge und Sehne wird nämlich der Angriffspunkt des Muskels so lange an der Tangente bleiben, bis der Muskel sich so weit verkürzt resp. das Auge so weit gedreht hat, dass der Punkt *A''* nach *A'* gerückt ist.

2. Ortsverändernde Bewegungen*).

Ihre Möglichkeit ergibt die Beobachtung, dass der Bulbus mittelst eines Fingerdruckes und namentlich nach den Seiten hin verschiebbar ist; ob sie aber in der That durch die Wirkung der Augenmuskeln im Menschen vorkommt, ist noch zu erweisen. Die Bedingungen, unter denen dieses geschehen würde, bestehen in gleichzeitiger Zusammenziehung zweier Antagonisten z. B. der mm. rectus superior und inferior, der beiden mm. obliqui, so dass die drehenden Wirkungen derselben aufgehoben und nur die durch den Drehpunkt des Auges und der Ansatzpunkte der Muskeln fallenden zur Aeusserung kämen. Die mm. obliqui würden ihrem Ansatz gemäss den Drehpunkt nach vorn, die mm. recti dagegen ihn nach hinten ziehen.

3. Formverändernde Wirkungen der Augenmuskeln**).

Wenn ein Muskel einem Punkt des Auges eine Bewegung mitzutheilen strebt, während ein anderer Theil desselben festgeheftet ist, so wird statt einer Bewegung eine Zerrung oder Pressung und vorausgesetzt, dass eine hinreichende Verschiebbarkeit der Theilchen vorhanden ist, eine Formveränderung des Auges erzeugt werden. Diese wird abhängig sein: a) von der Stärke und Richtung des Muskelzuges und den gleichen Verhältnissen des bewegungshemmenden Einflusses, in der Art, dass z. B. je nach den Orten des Widerstandes ein und derselbe Muskelzug die mannigfachsten Formveränderungen erzeugen kann; b) nach der Natur des gedrückten oder gezerrten Körpers und namentlich je nachdem sich in ihm ein Druck gleichmässig oder ungleichmässig fortpflanzt und je nachdem er an einigen Stellen widerstandsfähiger ist, als an andern. Da nun das Auge eine mit Flüssigkeit gefüllte Kugel darstellt, in welcher sich der Druck nach allen Seiten hin gleichmässig mittheilt, da ferner die Cornea und die Umgrenzung des Auges aus ganz verschieden nachgiebigen Stücken besteht, so könnte man zu dem Schluss gelangen, dass jede

*) Rüte, Ophthalmologie p. 14.

**) Müller, Lehrb. d. Physiologie II Bd. 333. — Brücke in den Berliner Berichten über Fortschritte d. Physik. I. Bd. 203.

Art von Pressung neben einer besondern von der Richtung der pressenden Einflüsse herrührenden, eine allgemeine immer wiederkehrende Formveränderung erzeugte. Ob aber dieses oder ein anderes der Fall sein möchte, ist den hier noch vollkommen fehlenden Experimentalarbeiten zur Entscheidung zu überlassen.

Die gewöhnlichen Annahmen, dass das Zusammenwirken der geraden eine Verkürzung, die der schiefen Muskeln eine Verlängerung des Auges in der Richtung der Sehachse erzielen solle, entbehrt jeglichen Beweises. Vielleicht sind die Membranen des lebenden Auges durch ihre pralle Anfüllung mit Flüssigkeit so stark gespannt, dass die Augenmuskeln, selbst bei heftigen Contraktionsgraden, gar keine irgend erhebliche Formveränderung zu Stande bringen. —

4. Nerven der Augenmuskeln; Verknüpfung der Bewegungen der beiderseitigen Augenmuskeln*). Stellung zum Willen.

Ueber die Abhängigkeit der Muskeln von den Nerven siehe die n. oculomotorius abducens, trochlearis.

Die Bewegungen beider Augen befinden sich in der innigsten gegenseitigen Abhängigkeit, die sich darin ausprägt, dass a) immer nur gleichzeitig Drehungen der beiden Augen um die Sechachse (Rotationen) nach einer Richtung und um gleichviel Grade möglich sind, so dass die von uns als Höhenachse bezeichnete, mit dem Auge beweglich gedachte Linie in beiden Augen immer parallel liegt. — b) Ebenso können gleichzeitig von beiden Augen nur solche Drehungen um die Querachse ausgeführt werden, bei denen die Sehachsen um einen gleich grossen Winkel und im gleichem Sinne gegen den Horizont geneigt sind, so dass wenn die Sehachsen von der horizontalen Lage abweichen, sie entweder beide nach oben oder beide nach unten gerichtet sind. — c) In der Richtung von rechts nach links (um die Höhenachse) können beide Augen gleichzeitig so gestellt werden, dass die Sehachsen in jedem beliebigen Winkel nach vorn convergiren, während die Augen nur in sehr beschränkter Weise in eine Stellung geführt werden können, bei welcher die Sehachsen nach hinten convergiren, also nach vorn divergiren. Nach H. Meyer ist der Divergenzwinkel, bis zu welchen die beiden Sehachsen geführt werden können, um etwas grösser, wenn man das linke Auge fixirt erhält und das rechte nach aussen führt, als umgekehrt wenn man dem rechten eine fixe Stellung gibt und das linke nach aussen wendet; das Maximum der Divergenz beträgt nach seinen Untersuchungen etwa 11^0; bei einer bestehenden Schwäche der Sehkraft des einen der beiden Augen ist es jedoch möglich die Divergenz noch weiter zu treiben.

Die Stellung der Augenmuskeln zum Willen gestaltet sich dahin, dass die mm. obliqui seinem Einfluss gänzlich entzogen sind; in der Art dem Willen unterworfen, dass sie jedesmal nur gleichzeitig

*) H. Meyer. Zur Lehre v. der Synergie d. Augenmuskeln. Poggendorfs Annal. Bd. 85. 1852. J. Müller, Lehrbuch der Physiologie II. Bd. p. 85. — Böhm, das Schielen. Berlin 1845. p. 15 u. f.

bewegt werden können, sind die musc. recti superiores, und ebenso die inferiores. In unbeschränkter Weise können die mm. recti interni, oder der m. rectus externus des einen und m. rectus internus des andern Auges willkührlich bewegt werden, während nur bis zu gewissem Grade der Zusammenziehung die mm. recti externi gleichzeitig dem Willen gehorchen.

Da die mm. recti zum Theil neben den wesentlichen Bewegungen um die Höhen- und Querachsen des Auges auch Drehungen um die Sehachse unternehmen, so verknüpfen sich unwillkürlich mit ihren Wirkungen auch diejenigen der mm. obliqui, damit die Bedingung, welche verlangt, dass die Höhenachsen immer gleiche Neigung zum Horizont besitzen, erfüllt werde, Hueck, Donders. Unter welchen Umständen und in welchem Grade dieses geschieht, wird erst ermittelbar sein, wenn wir eine genaue Anatomie der Augenmuskeln besitzen. — Zur Erläuterung der besonderen Art von Abhängigkeit, in welcher die Nerven der Augenmuskeln zu den Willensorganen stehen, sind bis dahin nur sehr wenig bedeutende Hypothesen zu Tage gefördert. Von Bedeutung für Ausgangspunkte zukünftiger Untersuchung ist die Behauptung, dass man durch Uebung die gewöhnliche Verknüpfung der Muskeln lösen könne(?); ferner, dass mit einer Erlahmung der Funktionen der Retina die Combinationen sich ändern, Böhm; und endlich, dass nach Verletzung der Kleinhirnschenkel und Vierhügel ebenfalls Stellungen der Augen zu Stande kommen, die ohne diese Eingriffe nicht möglich sind. — Die wichtige Frage, ob in allen den Stellungen der Augen, bei welchen die Sehachsen unter gleichen Winkeln convergiren, auch die Summe der Verkürzung, welche die betreffenden mm. recti interni oder externi erfahren, eine gleiche sei, ist wegen der mangelhaften anatomischen Kenntnisse nicht zu lösen.

5. Geschwindigkeit der Bewegung*).

Veränderungen in dem Contraktionsgrad und der Combination der einzelnen Augenmuskeln gehen, wie später bei der Lehre von der Perspektive und von den entoptischen Figuren erläutert wird, mit ausserordentlicher Geschwindigkeit vor sich.

Volkmann hat dieses bestritten, nach Versuchen, in welchen er auf zwei Winkel eines bekannten Dreiecks, dessen dritter mit dem Drehpunkt des Auges zusammen fiel, Nadeln einfügte und nun versuchte, wie oft er in einer halben Minute Wechselnd beide Nadeln sehen konnte. Aus diesen Versuchen ergab sich zwar im Allgemeinen, dass grosse Zeiten selbst bei kleinen Bewegungen nothwendig waren, zugleich aber das verdächtigende Resultat, dass zuweilen grössere Bewegungen eine kürzere Zeit brauchen, als kleine.**) Wie es scheint mit Recht, bemerkte Brücke zu diesen Versuchen, dass man in ihnen ausser der auf die Bewegung verbrauchten Zeit auch noch die gemessen habe, welche der mehr oder weniger geübte Wille nöthig hatte, um die Bewegung anzuregen und die angeregte zu hemmen. Eine fortgesetzte Uebung in einer bestimmten Versuchsreihe dürfte wahrscheinlich die hier gemessenen Zeiten sehr verkleinern.

Einrichtungen zur Brechung der Lichtstrahlen im Auge.

1. Einige allgemeine Betrachtungen über den Gang des Lichtes durch ein System von brechenden Flächen und Medien die sich denen des Auges analog verhalten.

---

*) Volkmann, Artikel Sehen in Wagners Handwörterb. III. Bd. 1. Abthl. p. 276. — Brücke, Berliner Berichte II. p. 215.

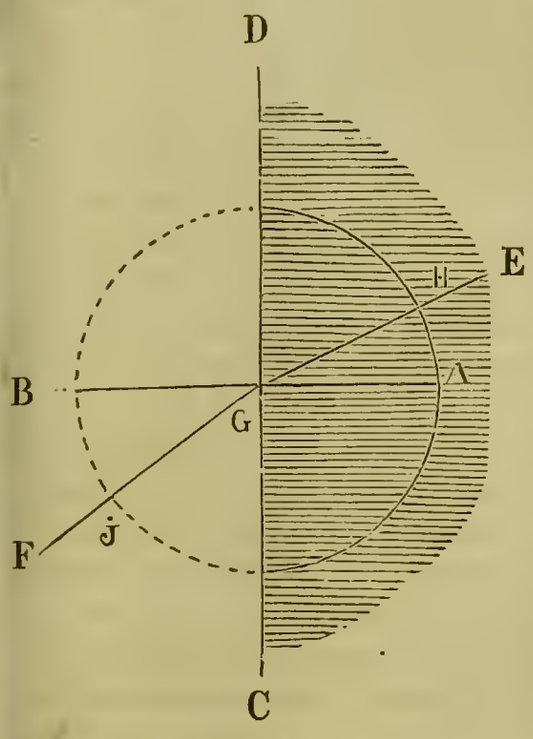
**) Tab. I und II mit einem Auge, Hüttenheim.

Die folgende Darstellung ist für denjenigen berechnet, welchem die elementare Optik der physikalischen Lehrbücher unzugänglich ist; indem sie sich der Verständlichkeit wegen lediglich an die Anschauung hält, kann dieselbe weder zu so allgemeinen, noch so scharfen Ableitungen gelangen, wie dieses durch die analytische Methode möglich wird.

A. Erscheinungen, welche eintreten, wenn ein Lichtstrahl eine convexe Grenzfläche zweier optisch verschiedenen Medien überschreitet.

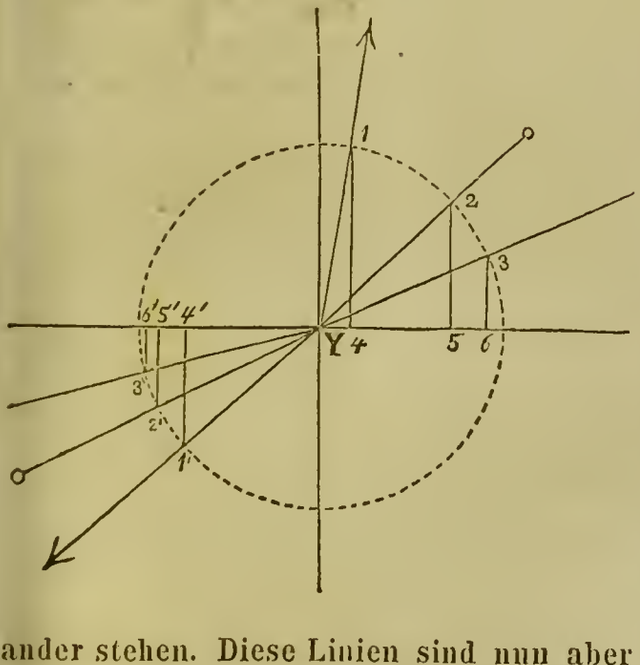
Gelangt ein Lichtstrahl an die Grenze zweier chemisch irgendwie verschiedener Stoffe (optisch verschiedener Medien), so verlässt er, indem er dieselbe überschreitet, plötzlich seine bisher verfolgte Bahn und verläuft in dem neuen Medium nach einer andern Richtung, so dass er an der Uebertrittsstelle aus einem in den andern Stoff gebrochen erscheint. Um eine Vorstellung von der Grösse der Winkel, um welche die Brechung geschah, zu erlangen, zieht man eine Linie, das Einfallsloth, *AB* in Fig. 32 senkrecht auf den Ort *G* der Berührungsflächen beider Medien, an welchen der Lichtstrahl *EG* die Grenze *DC* überschreitet; darauf legt man mit beliebigem Radius einen Kreis um den Punct *G*, den Schnittpunkt des Strahles und des Einfallslothes. Die Vergleichung des Stückes der Kreisperipherie *AH*, welche den Winkel *AGH* — den Einfallswinkel — umspannt, mit derjenigen *BJ*, welche den Winkel *BGJ* — den Brechungswinkel — umgreift, ergibt den Winkelwerth, um welchen der Strahl von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt ist.

Fig. 32.



Lässt man gegen den Punkt *G*, während die Fläche und die durch sie begrenzten Stoffe unverändert erhalten werden, der Reihenfolge nach Strahlen auffallen, welche mit dem Einfallsloth verschiedene Winkel bilden, und vergleicht jedesmal die zugehörigen Einfalls- und Brechungswinkel, so ergibt sich erfahrungsgemäss dass das Verhältniss der die Winkel messenden Bogenstücke kein sich gleichbleibendes ist.

Fig. 33.

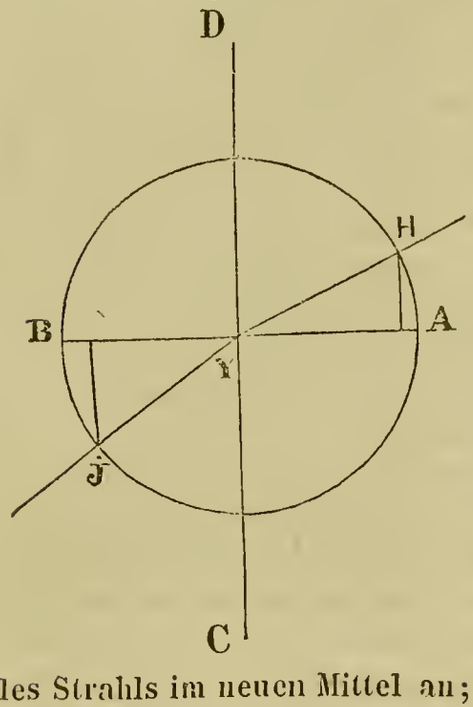


Vergleicht man nämlich in der nach der Erfahrung entworfenen Fig. 33 z. B. die Verhältnisszahl welche die Bogenstücke des zueinander gehörigen Einfalls- und Brechungswinkels 1 Y 4 : 1′Y 4′ liefern mit derjenigen die zwischen den Bogenstücken der zugehörigen Winkel 2 Y 5 : 2′Y 5′ besteht, so gewahrt man sogleich das abweichende beider Zahlen. Fällt man dagegen von den Punkten 1, 2, 3, und 1′ 2′ 3, wo die Lichtstrahlen den Kreis schneiden, die senkrechte Linie 1 4, 1′ 4, 2 5, 2′ 5′ u. s. w. auf das Einfallsloth und vergleicht man je zwei zu einander gehörige, z. B. 1 4 : 1′ 4′; 2 5 : 2′ 5′ u. s. w., so findet sich, dass die Längen dieser Linien bei allen Strahlen in einem und demselben Verhältniss zu einander stehen. Diese Linien sind nun aber bekanntlich nichts anderes, als die Sinus der entsprechenden Bogen oder Winkel; daraus folgt nun das für die Brechungs-

erscheinungen fundamentale Gesetz, dass für dieselben optischen Medien die Sinus der Einfalls- und Brechungswinkel sich in einem unveränderlichen Verhältniss zu einander finden. Diese so eben mitgetheilte Thatsache fasst man kurz unter dem Namen des Brechungsgesetzes zusammen, und bezeichnet dann als Brechungsverhältniss zweier Medien dasjenige, in welchem der Sinus des Einfalls- und des Brechungswinkels zu einander stehen. — Nächst diesem Gesetz lehrt die Erfahrung noch ein zweites, dass nämlich das Einfallsloth, einfallender und gebrochener Strahl in einer Ebene liegen.

Die einfachsten und allgemeinsten Folgerungen aus diesen Gesetzen sind folgende: 1) Wenn das Brechungsverhältniss zweier Medien bekannt ist, und man den Winkel (resp. dessen Sinus) kennt, welchen ein bestimmter Strahl beim Uebertritt aus dem einen in das andere Medium mit dem Einfallsloth bildet, so ist auch jedesmal der Brechungswinkel (resp. dessen Sinus) und damit der Verlauf des Strahles im neuen Medium zu finden.

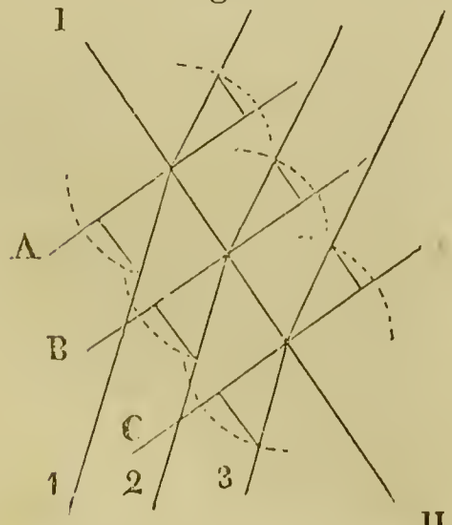
Fig. 33b.



Das Verfahren, welches die Aufgabe lösst, ist einfach folgendes Fig. 33b: Gegeben sei der Verlauf des Strahles *HY* im ersten Mittel, die Grenzfläche beider Mittel *DC*, und das Einfallsloth *AY* mit seiner Verlängerung in das zweite Mittel *BY*, und endlich das Brechungsverhältniss des ersten zum zweiten Mittel, das wir hier beispielsweise wie 1 zu 2 annehmen wollen. — Man beschreibe nun mit dem beliebigen Halbmesser *YA* einen Kreis um den Mittelpunkt *Y* und errichte dann auf dem Einfallsloth eine senkrechte von *H* nach *A* (den Sinus des Einfallswinkels), nehme darauf das Doppelte von *HA* zwischen die Zirkelspitzen, und setze diese Länge senkrecht auf die Verlängerung des Einfallslothes in das zweite Mittel in der Art, dass ihr eines Ende das Einfallsloth, ihr anderes die Kreisperipherie (bei *J*) berührt. Die Verbindungslinie von *Y* nach *J* gibt die Richtung des Strahls im neuen Mittel an; denn der Sinus des Winkels *BYJ* (des Brechungswinkels) steht zum Sinus des Einfallswinkels *EYA* im verlangten Verhältniss.

2) Die Ablenkung, welche ein Strahl erfährt, wächst nicht geradezu mit dem Einfallswinkel, sondern in einem beträchtlich steigenden Verhältniss. Dieses tritt darum ein, weil der Winkel resp. der ihn messende Bogen bei seinem Wachsthum von *0* bis zum Rechten sehr viel rascher und in einem ganz andern Verhältniss zunimmt, als der Sinus, wie dies die Betrachtung der Fig. 33 lehrt. Demnach wird also z. B. die Hälfte vom Sinus eines gegebenen Winkels nicht der Sinus des halben, sondern der eines viel kleineren Winkels als des halben sein.

Fig. 34.

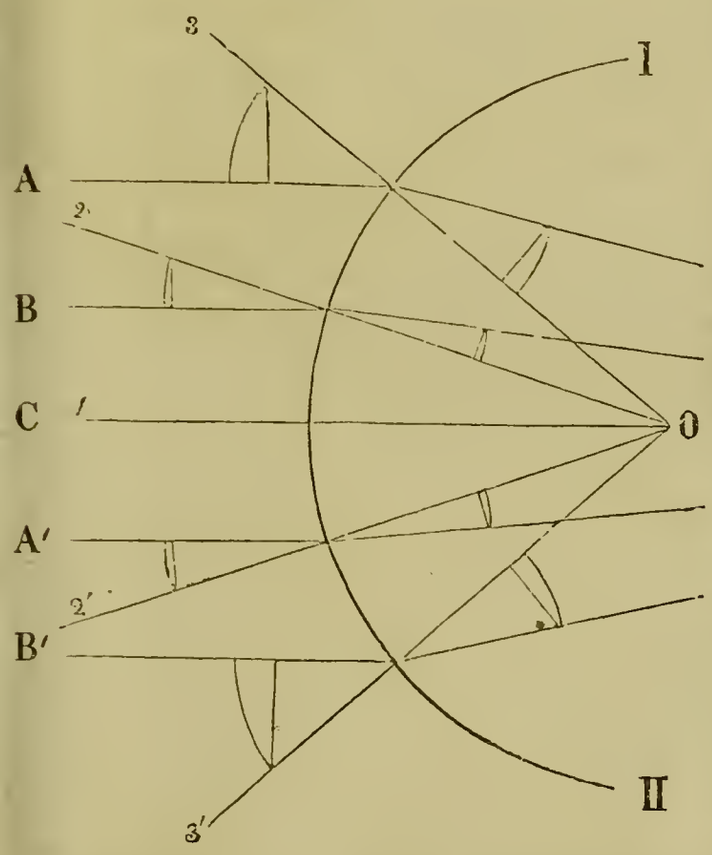


Wir haben bisher auf die Gestalt der Trennungsfläche beider Mittel keine Rücksicht genommen, weil bei der Betrachtung eines einzigen Strahles jedesmal das unendlich kleine Stückchen derselben, auf das er trifft, als eben angesehen werden kann; von jetzt an werden wir auch die Eigenschaften der Berührungsfläche der sog. brechenden Fläche in Erwägung ziehen. Zu diesem Ende nehmen wir an, es gelangen parallele Lichtstrahlen auf die Grenze zweier Medien von bekanntem Brechungsverhältniss während die brechende Fläche bald eben und bald kugelig gekrümmt ist.

In Fig. 34 sei *I. II.* die ebene Berührungsfläche der beiden Medien; 1,2,3 seien drei einander parallele

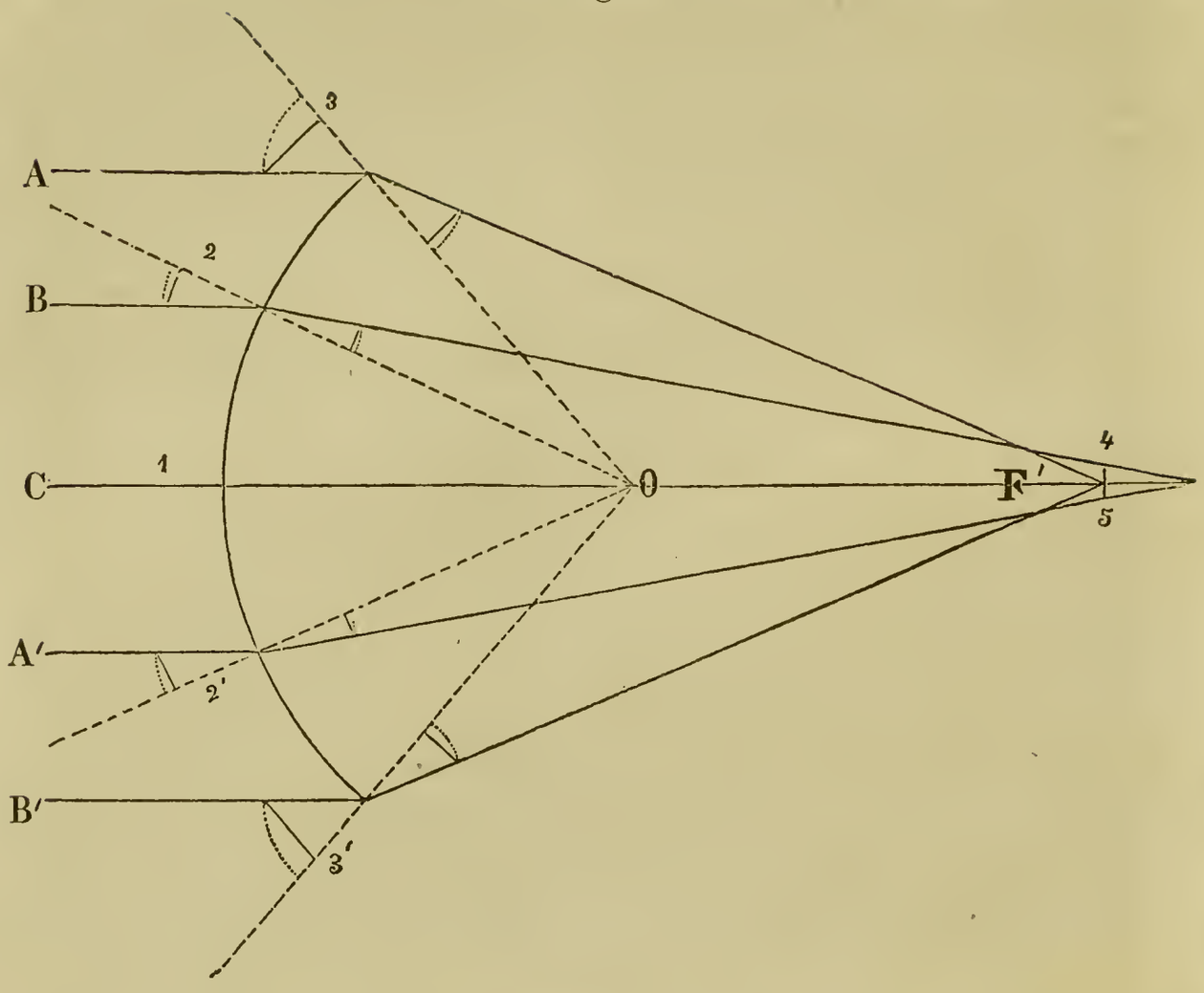
Strahlen, so werden $A\,B\,C$ ihre zugehörigen Einfallslothe sein; aus bekannten geometrischen Gründen bilden die parallelen Strahlen mit den unter sich parallelen Einfallslothen gleiche Winkel, sie werden also auch sämmtlich um einen gleichen Winkel gebrochen werden, d. h. die Strahlen verlaufen im zweiten Mittel zwar in anderer Richtung als im ersten, aber jedenfalls wiederum einander parallel. — In Fig. 35 setzen wir nun voraus, die Berührungsflächen *I.*, *II.* beider Mittel sei eine Kugelschale, welche um den Mittelpunkt *O* mit dem Radius *O II.* beschrieben worden sei; die im ersten Mittel einander parallelen Strahlen sind durch die Linien $A'B'CAB$ dargestellt; die Einfallslothe dieser Strahlen sind die Radien oder ihre Verlängerungen $O3'$, $O2'$, $O1$, $O2$, $O3$; da diese bekanntlich senkrecht auf der Tangente des Kreispunktes stehen, den sie berühren. Wie der Augenschein ergibt, sind nun die Einfallswinkel der Strahlen sehr verschieden. *C* liegt geradezu in der Verlängerung des Radius und bildet somit gar keinen Winkel mit dem Einfallsloth; von *C* aus aber wachsen nach oben und unten symmetrisch die Einfallswinkel, daraus geht nun aber hervor, dass *C*, der sog. Achsenstrahl, gar keine Brechung erleidet, während die von da nach der Peripherie gelegenen Strahlen eine steigend und steigend stärkere Ablenkung erfahren müssen. Weil nun aber die Strahlen AB und $A'B'$ im ersten Mittel mit dem Achsenstrahl parallel liefen, $A'A$ und BB' im neuen Mittel aber eine beträchtliche Ablenkung von ihrer ursprünglichen Richtung erhalten, während C diese letztere beibehält, so folgt daraus, dass im neuen Mittel, A und A' sowohl als B und B' sich gegen den Achsenstrahl *C* neigen und ihn endlich im weiteren Verlaufe schneiden werden. Diese Schnittpunkte, in welchen sich die in verschiedenen Strahlen verlaufenden Lichtmassen auf einen Punkt conzentriren, nennt man bekanntlich ganz allgemein die Brennpunkte.

Fig. 35.



Es fragt sich nun werden alle parallel auffallenden Strahlen nach ihrer Richtung einander in einem Punkte schneiden. Diese Annahme liegt nahe; denn die von der Achse entfernter liegenden Strahlen convergiren wie wir schon oben zeigten, stärker als die der Achse nähergelegenen. Man konnte also zu dem Glauben geneigt sein, dass sich diese beiden Momente, Entfernung von der Achse und Convergenz zu einander so verhielten, dass sie sich zur Erzeugung eines einzigen Schnittpunktes ausglichen. Offenbar muss es auch eine krumme Fläche geben, die diesen Bedingungen genügt, aber an der Kugel geschieht es nicht. Denn construirt man erfahrungsgemäss die Strahlenbrechung durch dieselbe, wie in Fig. 36, so ergibt sich, dass das eine Element die mit dem Abstand von der Achse steigende Brechung überwiegt, so dass ganz allgemein die Behauptung gilt: je weiter seitlich von der Achse die Strahlen die brechende Kugelfläche treffen, um so früher schneiden sie jene im zweiten Mittel. Vergl. B^1 im Verhältniss zu A^1. Daraus folgt nun, dass nur diejenigen Strahlen, welche eine genaue symmetrische Lage zum Achsenstrahl besitzen, einen gemeinsamen Brennpunkt haben werden, und ferner, dass die auf die Linse auffallenden Strahlen unzählig viele hinter einander liegenden Brennpunkte bilden

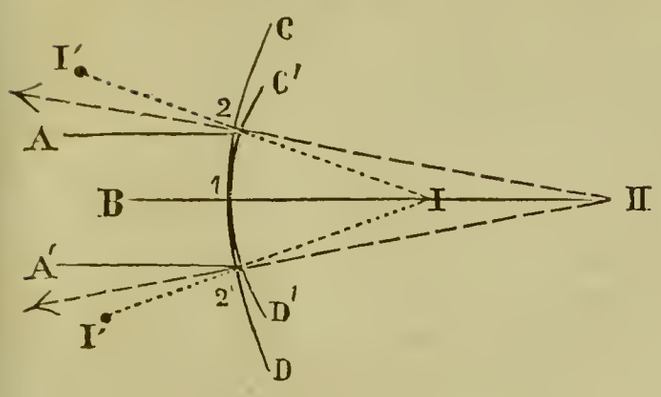
Fig. 36.



werden, so dass vom Gesichtspunkt der Theorie aus niemals von einem gemeinschaftlichen Brennpunkt einer Kugelfläche die Rede sein kann. — Im Widerspruch mit diesem theoretischen Ergebniss kennt dennoch die praktische Optik nur einen Brennpunkt brechender Kugelflächen und in der That ist dieses bei der durch die Praxis erzielbaren Genauigkeit innerhalb gewisser Grenzen auch erlaubt, denn wenn die Einfallswinkel mit steigendem Abstand nicht zu rasch zunehmen, so liegt, zum Theil wegen der oben erwähnten Compensation, der Brennpunkt der Strahlen, welche in benachbarten Flächenstücken einfallen, im zweiten Mittel nahe genug, um als zusammenfallend angesehen werden zu können. Diese relativ langsame Zunahme der Einfallswinkel findet aber vorzugsweise für die Strahlen statt, welche um nur wenige Bogengrade von der Achse entfernt in der brechenden Fläche eintreffen, und es sind darum auch die im Umkreis von wenigen Graden einfallenden Strahlen, welche einen für praktische Zwecke brauchbaren Brennpunkt bilden, während die Brennpunkte der weiter seitlich eindringenden Strahlen zu weit abstehen, um auch noch von einer wenig genauen Praxis mit den andern zusammengefasst werden zu können. Dieses Auseinanderfallen der Brennpunkte in Folge der steigenden Krümmung nennt die Optik die sphärische Aberration.

Bisher haben wir unter den Bedingungen der unveränderlichen Kugelfläche und der wechselnden Lage der parallelen Strahlen die Orte des Brennpunktes (oder die Stärke der Brechung) aufzufinden gesucht. Wir wollen uns nun die Lage der parallelen Strahlen im ersten Mittel constant denken und annehmen, es wechsle die Kugelfläche des zweiten Mittels. In Figur 37 stellen *A A′ B* parallele Strahlen vor, welche unter allen Umständen in dem constanten Abstand 1 2′ 1, 2 von der Achse an die Grenze des zweiten Mittels treffen. Die kugelige Grenzfläche dieses zweiten Mittels soll aber veränderlich sein in der Art, dass sie das einemal mittelst des Radius *II* 2′ und das andere Mal mittelst des kürzeren Radius *I* 2′ beschrieben sei. Bei dieser Annahme würden die Lothe, welche auf die Einfallsorte der Strahlen

Fig. 37.

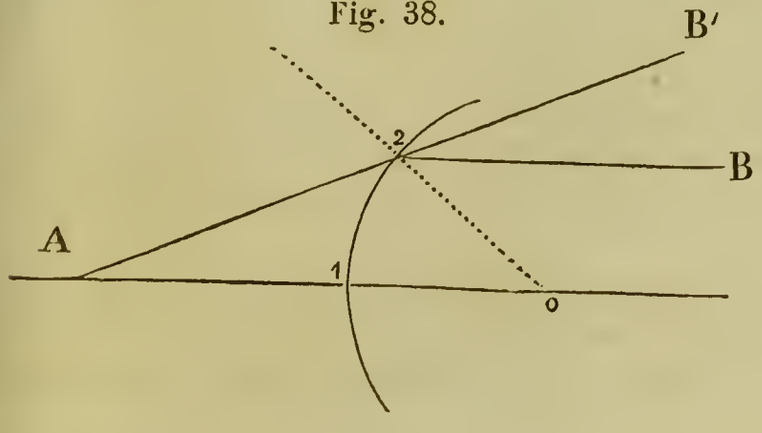


ABA' gezogen werden $II\,1'$ $II\,2$ $II\,2'$, respect. $I\,1'$ $I\,2$ $I\,2'$ sein. Wie ersichtlich bleibt in beiden Fällen der Winkel, welchen der Strahl B mit dem Einfallsloth bildet, derselbe, d. h. $= 0$; dagegen unterscheiden sich die Einfallswinkel der Strahlen $A\,A'$ je nachdem sie auf die mit dem grösseren oder dem kleineren Radius beschriebene Grenzfläche treffen, durch ihre Grösse von einander; und namentlich wächst der Einfallswinkel der Strahlen, wenn der Radius der Kugelfläche, auf die sie treffen, abnimmt. Demnach wird auch an der Grenze der kleinen Kugel die stärkere Brechung stattfinden. — Man hat nun selbstverständlich zu derselben Construction in jeder durch die Achse $B\,II$ gelegten Ebene das Recht; folglich gelten die bisher gezogenen Schlüsse auch für ein ganzes cylindrisches Strahlenbündel, so dass wir also aussprechen dürfen: Strahlencylinder von gleicher Basis werden um so stärker gebrochen werden, respect. ihren Brennpunkt um so näher am Scheitel der Kugelfläche finden, je kleiner der Halbmesser dieser letztern, mit dem sie beschrieben wurden. — Ausserdem geht aber auch noch aus unserer Betrachtung hervor, dass Strahlencylinder von gleich grossem Querschnitt beim Auffallen auf Kugelflächen von kleinen Halbmessern beträchtlichere Brennpunktsabweichungen darbieten werden als beim Auffallen auf Kugelflächen von grossem Halbmesser; dieses wird sogleich klar sein, wenn man sich erinnert, wie die sphärische Aberration nur darin ihren Grund findet, dass die Einfallswinkel der vom Achsenstrahl weiter und weiter seitlich auffallenden Strahlen in einem so rasch steigenden Verhältniss zunehmen.

Unsere Untersuchung führt uns nun auf die Betrachtung der Brechungserscheinungen, (respekt. die Lage des Brennpunktes,) welche sich ereignen, wenn die Strahlen statt parallel divergirend im ersten Mittel verlaufen, oder mit andern Worten, wenn die Lichtquelle (z. B. ein leuchtender Punkt), deren Strahlen gebrochen werden, nicht in unendlicher, sondern in endlicher Entfernung von der brechenden Fläche liegt.

Wir werden auch hier wieder die Untersuchung so führen, dass wir zunächst die Orte der leuchtenden Punkte oder die Divergenzwinkel der auf die Fläche des zweiten Mittels auffallenden Strahlen wechseln lassen, während wir die brechende Fläche selbst unveränderlich setzen. Eine vorerst ganz allgemein gehaltene Betrachtung lehrt, dass die aus dem ersten in das zweite Mittel divergirend einfallenden Strahlen nur dann einen Brennpunkt besitzen, wenn die Winkel, um welche sie an der Begrenzungsfläche des zweiten Mittels von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt werden, grösser sind als diejenigen, um welche sie im ersten Mittel von der Achse divergirten. Dieser Ausspruch ist an Fig. 38 verdeutlicht worden; in ihr ist 0 der Krümmungsmittelpunkt des zweiten Mittels, 0 2 sein

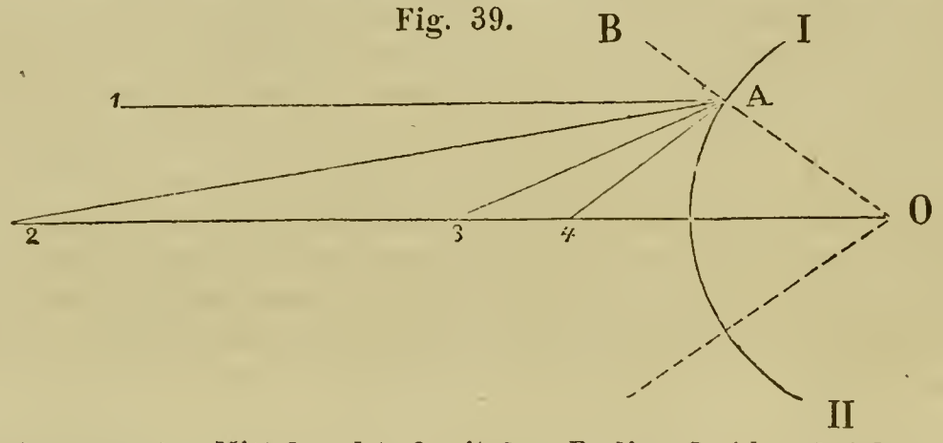
Fig. 38.



Halbmesser, A der leuchtende Punkt auf der Achse 0 A; einer seiner Strahlen $A\,2$ verlaufe im ersten Mittel unter dem Divergenzwinkel $2\,A\,1$ gegen die Achse und treffe die Grenze des zweiten Mittels bei 2. Wir setzen voraus, dass er bei seinem Eintritt in dasselbe eine Brechung nach B erleidet, in Folge deren

er nun parallel mit der Achse läuft. Verlängern wir in der ursprünglichen Richtung den Strahl *A* 2 in dem zweiten Mittel, so ist sogleich ersichtlich, dass der Winkel *B'* 2 *B* oder derjenige, um welchen der Strahl von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wurde, dem Winkel 2 *A* 1, d. h. demjenigen gleich ist, unter welchem der Strahl im ersten Mittel von der Achse divergirte. Ohne weitere Zusätze wird nun aber auch klar sein, dass wenn der Winkel *B* 2 *B'* bei unverrückter Lage von *A* 2 wachsen würde, der gebrochene *B* 2 die Achse irgendwo hinter dem Scheitel 1 schnitte. Demnach muss zu den Elementen (Einfallswinkel und Brechungsverhältniss), welche den Ort des Brennpunktes bestimmten als im ersten Mittel die Strahlen zur Achse parallel liefen, jetzt noch der Divergenzwinkel der ursprünglichen Strahlenrichtung in Betracht gezogen werden. Bei dieser Complikation gelingt es der Anschauung nicht mehr, allgemeine Regeln über die Lage des Brennpunktes anzugeben; nur Folgendes lässt sich noch ohne Construction des besonderen Falles darthun. In Fig. 39 bedeute *I II* wieder den Durchschnitt der gekrümmten Fläche des zweiten

Fig. 39.



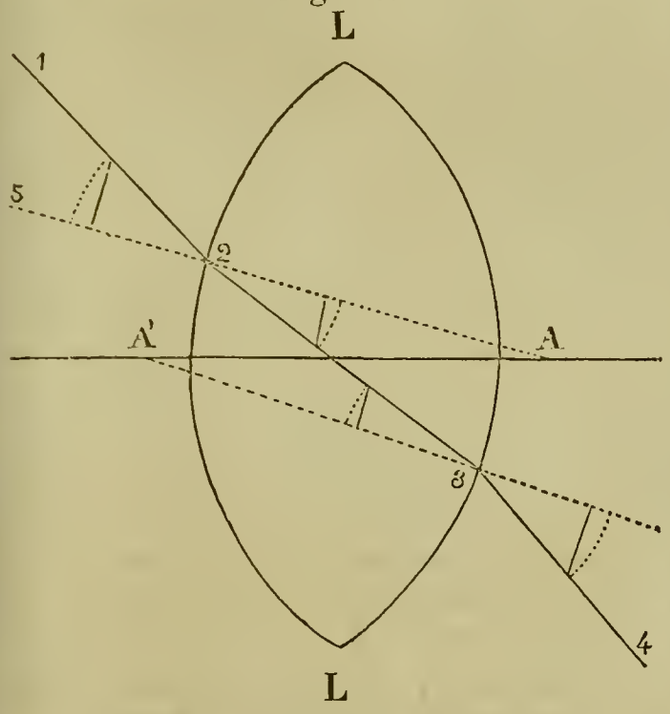
Mittels, welcher um den Mittelpunkt *0* mit dem Radius *0 A* beschrieben worden ist. 1 *A*, 2 *A*, 3 *A*, 4 *A* sind Strahlen, welche von leuchtenden Punkten ausgehen, die entweder wie 1 in unendlicher Ferne, oder wie 2, 3, 4 auf der Achse liegen. Man sieht sogleich, dass wenn wie hier der Ort *A*, in welchen die Strahlen das zweite Mittel treffen, nur in geringem Abstand von der Mitte liegt, der Divergenzwinkel *A* 2 *0* sowohl als der Einfallswinkel *B A* 2 nur wenig und zwar gleichzeitig wachsen, wenn der leuchtende Punkt von unendlicher Entfernung bis auf eine solche von wenigen Zollen (oder Linien) sich dem zweiten Mittel nähert. Unter diesen Umständen folgt aus dem Vorhergehenden sogleich, dass die diesen Entfernungen zugehörigen Brennpunkte auch nur um weniges von einander verschieden sein können. Die Construction lehrt nun noch, dass bei parallelen Strahlen der Brennpunkt dem Scheitel der krummen Fläche näher liegt, als für divergirende und dass sich der Brennpunkt allmählig von der Grenzfläche entfernt, wenn der Leuchtpunkt in den gegebenen Grenzen (von unendlich bis auf wenige Zolle) näher rückt. Nähert sich nun aber der leuchtende Punkt aus dem Abstand in mehreren Zollen (oder Linien) noch mehr an die Fläche, so nehmen nicht allein die Divergenzwinkel, sondern auch die Einfallswinkel rasch an Grösse zu. In diesen Fällen lässt uns nun unsere allgemeine Betrachtung vollkommen im Stich, so dass wir nur noch durch die Construction oder die Rechnung Aufschluss erhalten. Diese gibt aber an, dass für ein sehr geringes Näherrücken des Leuchtpunktes sich sehr rasch der Brennpunkt entferne, ja dass der näherrückende Punkt gar bald eine Lage erreicht, in welcher selbst die Strahlen, die den Scheitel der brechenden Fläche in der nächsten Umgebung der Achse treffen, so sehr gegen letztere divergiren, dass sie im zweiten Mittel gar nicht mehr convergirend, sondern wiederum, wenn auch schwächer, divergirend laufen.

Nach Allem bedarf es keiner Erläuterung mehr, dass beim Wachsen oder Verkleinern der Krümmungshalbmesser, mit dem die Fläche des zweiten Mittels beschrieben ist, alles Andere gleichgesetzt, auch der Brennpunkt sich entfernt oder nähert.

B, Brechung des Lichtes durch eine biconvexe Linse, deren beide Flächen von optisch gleichartigen Mitteln umgeben sind.

Die ganz allgemeine Aufgabe, den Verlauf eines Strahles der aus dem vordern Mittel durch die Linse in das hintere Mittel dringt, innerhalb der Linse und hinter derselben anzugeben, kann gelöst werden, wenn uns bekannt sind: der Ort, an welchem der aus dem ersten Medium kommende Strahl die vordere Linsenfläche trifft, der Winkel, den er hier mit dem Einfallsloth bildet, das Brechungsverhältniss zwischen der Substanz der Linse und dem vor und hinter ihr gelegenen Mittel, die Krümmungshalbmesser der Linsenflächen, und die Dicke der Linse, d. h. der Abstand ihrer Flächen. Da zur Lösung dieser Aufgabe eine einfache Anwendung der schon entwickelten Prinzipien genügt, so werden wir sie hier ohne ausführliche Erläuterung durch Fig. 40 darlegen.

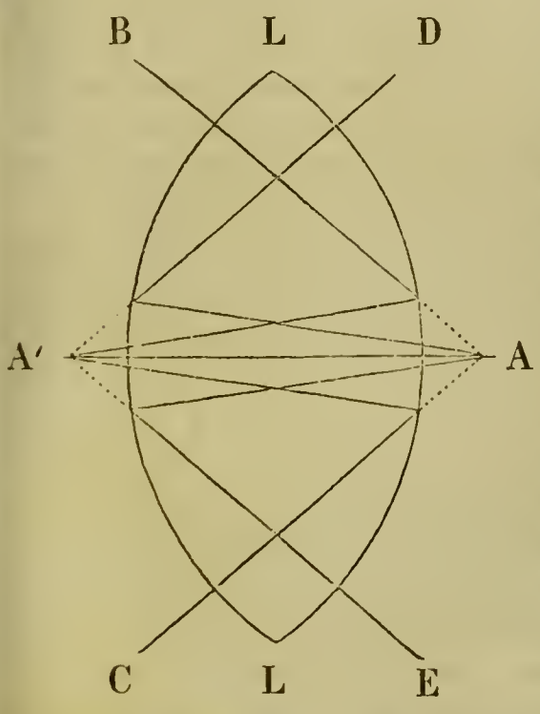
Fig. 40.



In dieser Zeichnung stellt *L L* die Linse, *A* 2 den Halbmesser der vorderen, *A'* 3 den der hinteren Fläche dar. Das Brechungsverhältniss des Mediums der Linse zu seiner Umgebung sei $^3/_4$*). Ist also der Strahl 1 2 mit dem Einfallswinkel 1 2 5 gegeben, so construirt sich nach bekannten Regeln der Gang des Strahls 2 3 innerhalb der Linse und die Richtung 3 4 jenseits der hinteren Fläche. Die Dicke der Linse ist, wie ersichtlich, dadurch von Bedeutung, dass sie die Länge des Wegs bestimmt, welchen der an der ersten Fläche abgelenkte Strahl in der neuen Richtung zu durchlaufen hat.

Eine Durchmusterung aller möglichen Lagen, welche die Strahlen zur Linse annehmen können, führt zu einigen wichtigen und allgemeinen Ergebnissen. Zuerst ist es deutlich, dass es nur eine Lage des Strahles zur Linse gibt, in welcher der einfallende Strahl ungebrochen durch dieselbe hindurchgeht. Fig. 41. Diese Forderung kann nämlich nur dann erfüllt werden, wenn der Strahl in der Verlängerung der Krümmungshalbmesser beider Flächen liegt, und diese Eigenschaft hat nur derjenige, der auf der geraden Verbindungslinie *A A'* beider Halbmesser gelegen ist, denn nur in diesem Fall macht der Strahl keinen Winkel mit einem derselben. In jeder beliebigen andern Lage, die z. B. die Fortsetzung des Halbmessers der vordern oder hintern Fläche darstellt, *B A*, *C A* u. s. w. oder *D A'*, *E A'* u. s. w. erleidet der Strahl eine Brechung wegen des Winkels, den er mit dem Halbmesser der entgegengesetzten Fläche ausmacht. Aus diesem Grunde ist auch der Achsenstrahl an der Linse ein ganz bestimmter, während er an einer kugeligen Fläche, die wir früher in Betracht zogen, willkührlich unter unendlich vielen angenommen werden konnte, in dem jeder um die Kugelfläche gelegene Leuchtpunkt einen Strahl aussendet, der in der Verlängerung des Radius liegt.

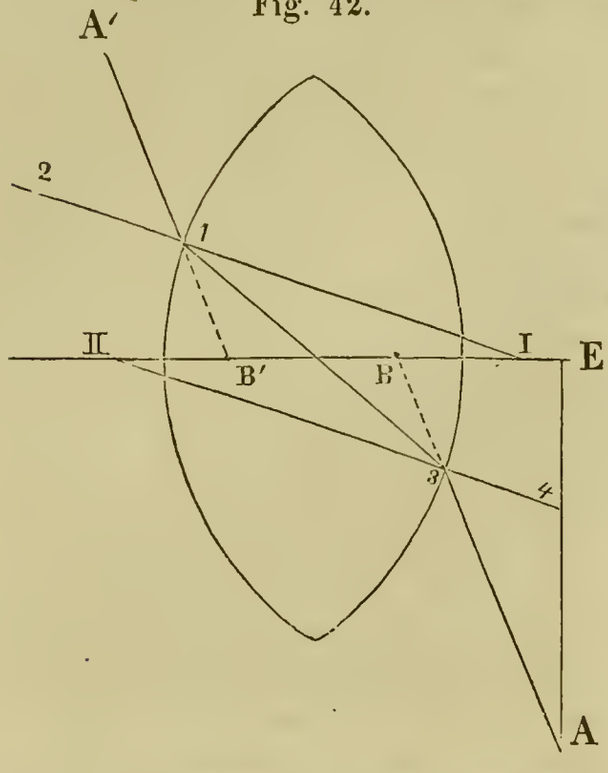
Fig. 41.



*) So dass wenn der Sinus des Einfallswinkels die Länge von 4 habe, der des Brechungswinkels 3 sei.

An den Achsenstrahl reihen sich diejenigen an, welche wie der Strahl $A' A$ in Fig. 42 parallele Linsenflächen durchsetzen. Diese Strahlen, die sogenannten Richtungsstrahlen, bilden innerhalb der Linse mit den Einfallslothen an der vordern und hintern Fläche gleiche Winkel I 1 3, II 3 1, weil nämlich die Einfallslothe dieser Flächen, welche senkrecht auf letzter stehen sollen, einander parallel laufen. Daraus folgt aber, dass wenn, wie in unserm Fall die Linse auf ihren beiden Flächen von demselben brechenden Medium umgeben ist, der Strahl auch beim Austritt auf der hinteren Fläche den gleichen Winkel A 3 4 mit dem verlängerten Krümmungshalbmesser oder dem Einfallslothe bilde, den er vor aller Brechung mit dem Einfallsloth auf der ersten brechenden Fläche A' 1 2 darstellte. Mit andern Worten, es wird der Strahl hinter der Linse einen Verlauf nehmen, welcher dem vor der Linse behaupteten parallel geht. Zugleich aber wird der ausfahrende Strahl nicht die Verlängerung des einfallenden ausmachen, sondern beide werden gegen einander verschoben sein, eine Verschiebung, deren Werth abhängig ist von der Länge des Weges 1 3 (respect. der Entfernung beider Linsenflächen von einander), welche der Strahl A′ 1 nach seiner ersten Ablenkung zu durchlaufen hat. Um eine deutliche Vorstellung von dieser Verschiebung ($B' B$) zu erhalten, genügt es, den Strahl in der ein und ausfahrenden Richtung gegen die Linsenachse $I\ II$ zu verlängern $A' B'$, $A B$. Die Punkte B' und B, in welchen die verlängerten Strahlen die Achse schneiden und welche zwei zueinander gehörige Punkte darstellen, hat man mit dem Namen der Knotenpunkte (Listing) belegt.

Fig. 42.



Dieser Richtungsstrahl empfängt für die dioptrische Construction eine Bedeutung darum, weil alle andern von dem leuchtenden Punkte A' ausgehenden Strahlen, vorausgesetzt, dass sie hinter der Linse ihre Vereinigung finden, auf ihn wieder zusammengebrochen werden müssen, wesshalb die Brennpunkte von A' in der Richtung von 3 A liegen. Diese Behauptung bedarf keiner weiteren Begründung, denn wenn ein Strahlenbüschel einen Vereinigungspunkt hat, so muss dieser auf jedem Strahl des Büschels und folglich auf dem Richtungsstrahl liegen. Ist demnach der Gang des Richtungsstrahles bekannt so wird es jedesmal zur genauen Bestimmung der Lage des Brennpunktes genügen, wenn man die gerade Entfernung E dieses letztern von der hinteren Linsenfläche kennt; denn offenbar würde der Durchschnittspunkt des Richtungsstrahls 3 A mit der Linie $E A$ den Ort des Brennpunktes bezeichnen.

Der innigen Beziehung wegen, die zwischen den Knotenpunkten und dem Richtungsstrahl besteht, kann man unter den Angaben, welche zur Bestimmung der Brennpunktslage dienen sollen, die der Knotenpunkte denjenigen des Richtungsstrahles substituiren und es kann demnach, wenn die Lage eines leuchtenden Punktes, diejenige der Knotenpunkte, und die Entfernung des Brennpunktes von der hintern Linsenfläche gegeben ist, der Richtungsstrahl und der Ort des Brennpunktes durch lineare Construction gefunden werden; zu diesem Behufe zieht man einfach eine gerade Verbindungslinie zwischen dem Leuchtpunkt A' und dem ersten Knotenpunkt B'; und dann eine dieser parallele Linie vom zweiten Knotenpunkt B; es gibt dann die Linie 3 A den Verlauf des Richtungsstrahles nach der Brechung u. s. w.

Bei der ungemeinen Bequemlichkeit, die diese Constructionsmethode bietet, erscheint es werthvoll, die Lage und den Lagenwechsel der Richtungsstrahlen einer

genauen Untersuchung zu unterwerfen, um zu ermitteln, inwieweit sie als allgemeine Constructionshilfen zu gebrauchen seien. Hier ergibt sich nun: a) Alles Andere gleichgesetzt wechselt der Richtungsstrahl mit dem Brechungsverhältniss, und namentlich weichen die Knotenpunkte um so beträchtlicher auseinander, je grösser die Unterschiede in den brechenden Kräften beider Medien ausfallen. Diesen Satz macht die Fig. 43 anschaulich, indem sie zeigt, dass zum Verlauf 1 2 des Strahles innerhalb der Linse ausserhalb dieser bald der von *A* 1 und bald der von *A'* 1 gehört, je nach dem Verhältniss des Sinus vom Brechungswinkel 7 8 zu dem Sinus der Einfallswinkel 4 5 oder 3 6. Der bekannten Construction nach fallen nun die Knotenpunkte für das Verhältniss von 7 8 : 3 6 auf *B B*; und für 7 8 : 5 4 auf *C. C.* — b) Alles Andere gleichgesetzt wechselt auch der Richtungsstrahl mit der Lage des Leuchtpunktes (Fig. 44), und zwar wächst der Abstand beider Knotenpunkte mit der Grösse des Winkels, welchen das auf die Einfallsorte 1, 2 der Richtungsstrahlen *A* 1, *A'* 2 u. s. w. gezogene Einfallsloth *I* 1, *I* 2 u. s. w. mit der Linsenachse *I II* bildet.

Fig. 43.

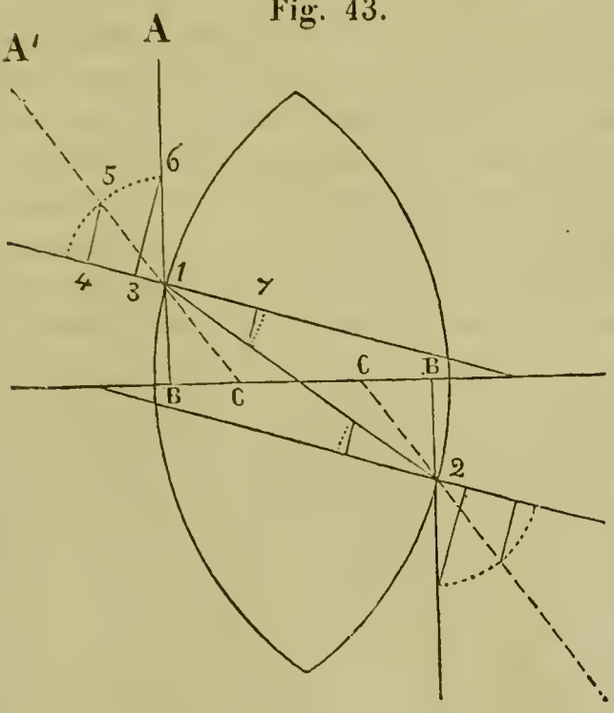
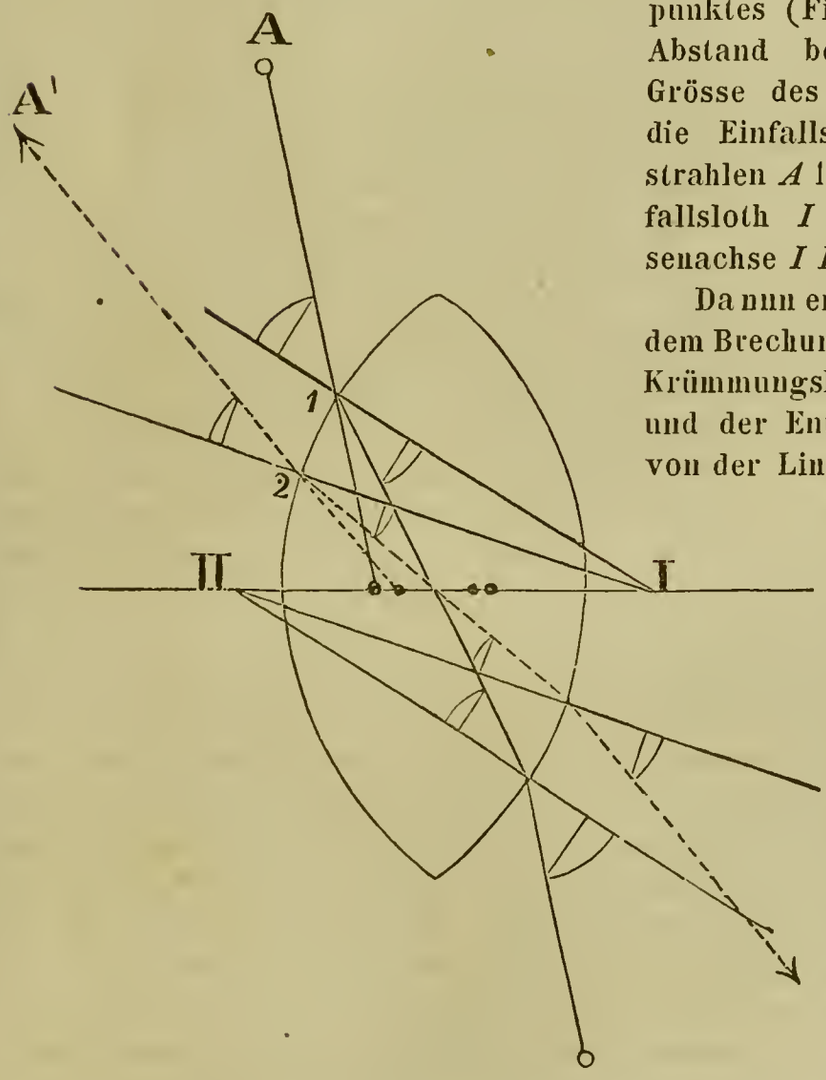


Fig. 44.



Da nun endlich auch mit dem Wechsel in dem Brechungsverhältniss, der Grösse des Krümmungshalbmessers der Linsenflächen und der Entfernung des Leuchtpunktes von der Linse der Brennpunkt sich verändert, so ist ersichtlich, dass das Construktionsverfahren aus der Lage der Knotenpunkte und dem Abstand des Brennpunktes jedesmal ganz bestimmte Angaben nöthig macht.

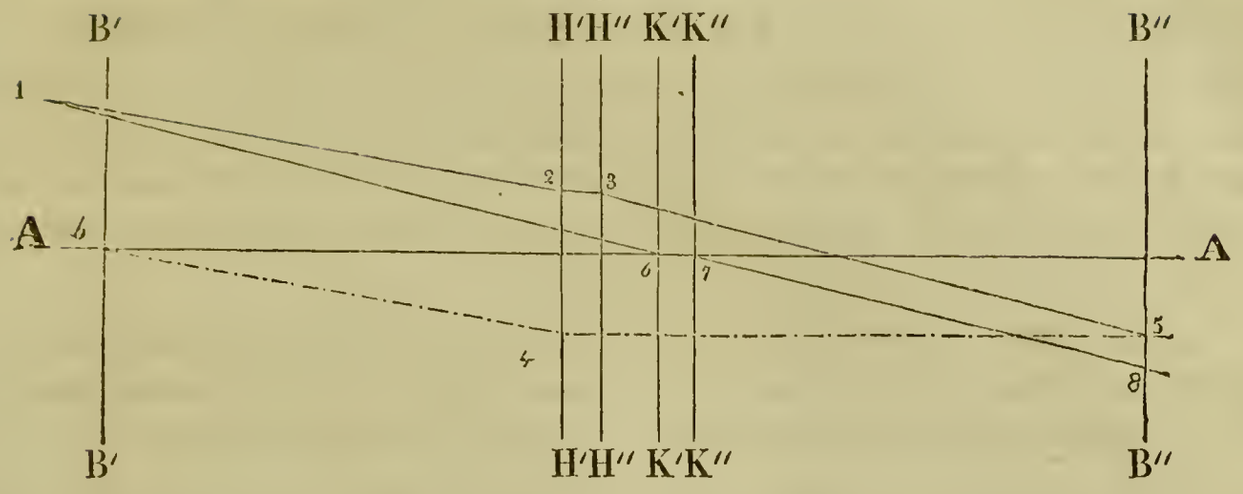
In der That ist man nun übereingekommen, an der Linse die Lage der Knotenpunkte als fixirt anzunehmen, unter den drei Voraussetzungen, dass die Linse in einem und demselben Mittel verweile, dass der Leuchtpunkt unendlich entfernt sei, also mit parallelen Strahlen zur Linse komme und nur ein Strahlenbüschel in Betracht gezogen werde, dessen Berührungsorte mit der Linienfläche am Krümmungsmittelpunkt einen unendlich kleinen Winkel mit der Linsenachse ausmachen.

C. Der dioptrische Apparat des Auges besteht im Wesentlichen aus einer Verbindung der beiden bisher untersuchten brechenden Zusammenstellungen; denn es

dringt das Licht in den Augapfel aus der Luft durch die convexe Fläche der Cornea in eine vorzugsweise wässerige Flüssigkeit, welche den Raum von der Cornea zur Retina einnimmt; auf seinem Wege durch dieses zweite Mittel erfährt aber der Lichtstrahl noch eine zweite Ablenkung durch die Linse, welche vom optischen Gesichtspunkt aus vorn und hinten durch dasselbe Mittel begrenzt ist. Die Angabe des Verlaufes eines Strahles, der auf die vordere Fläche der Cornea trifft, wird also nur ausführbar sein, wenn die nöthigen Data gegeben sind. Indem wir eine solche Construktion zur Uebung jedem Anfänger überlassen, mag hier nur die Bemerkung genügen, dass der Strahl bei Uebergang aus der Luft in die Cornea die grösste Ablenkung erfährt, weil das Brechungsverhältniss zwischen Luft und Cornea sehr viel beträchtlicher ist, als das der wässrigen und glasigen Feuchtigkeit zur Linse.

Jedermann, welcher nun einmal den Gang eines Strahles aus der Luft durch das Auge nach den von uns gegebenen Vorschriften construirt hat, wird sogleich einsehen, dass dieses Verfahren viel zu umständlich ist, als dass es zu praktischen Zwecken dienen könnte. Man hat darum zu allen Zeiten noch andere, einfachere Verfahrungsarten gesucht. Unter ihnen zeichnen sich diejenigen aus, welche von Moser und vorzugsweise von Listing aus den ausgezeichneten dioptrischen Untersuchungen von Gauss und Bessel abgeleitet sind, weil sie den Vortheil bieten, ohne die mindeste Beeinträchtigung der Genauigkeit, das Auge als nur eine Linse ansehen zu dürfen. Dieses Verfahren, dessen nähere Begründung bei Listing nachzusehen, verlangt, dass für ein beliebig complizirtes brechendes System angegeben werde: die Achsen desselben und die Lage seiner vordern und hintern Hauptbrennpunkte, und diejenigen seiner Knoten und Hauptpunkte. Unter der Achse begreift man die gerade Linie, welche die Krümmungsmittelpunkte sämmtlicher brechenden Flächen vereinigt; die Hauptbrennpunkte sind diejenigen Punkte auf der Achse, in welchen die Strahlen vereinigt werden, welche parallel auffallen auf eine der Endflächen des Systems und zwar auf ein Stück der Fläche, dessen Radien einen sehr kleinen Winkel mit der Achse am Krümmungsmittelpunkt einschliessen. Der vordere Hauptbrennpunkt ist nun derjenige, welcher diesseits der vordersten Fläche des Systems liegt, in welchen also die auf die hinterste Fläche einfallenden Strahlen vereinigt werden, der hintere Hauptbrennpunkt der entgegengesetzt liegende. — Die Knotenpunkte sind analog denjenigen Punkten, die wir an einer einfachen Linse ebenfalls Knotenpunkte der Richtungsstrahlen und an der einfachen brechenden Fläche den Kreuzungspunkt der Achsenstrahlen (den Krümmungsmittelpunkt) nannten, und endlich sind die Hauptpunkte zwei Punkte, welche den Knotenpunkten coordinirt sind, indem sie voneinander eben so weit entfernt liegen, als die Knotenpunkte und der vorderste Hauptpunkt von dem vorderen Hauptbrennpunkt genau so weit absteht, als der hintere Knotenpunkt von dem hintern Hauptbrennpunkt. Durch die Achse denke man sich nun eine Ebene gelegt und senkrecht auf diese sechs andere errichtet an den Orten, an welchen die Brenn-, Haupt- und Knotenpunkte die Ebene treffen. Diese Ebenen sollen vordere und hintere Hauptbrennebenen, vordere und hintere Hauptebenen und vordere und hintere Knotenebenen genannt werden. Gesetzt es sei in Fig. 45 AA die Achse, $B'B'$ die vordere und $B''B''$ die hintere Hauptbrennebene, $H'H'$ die vordere und $H''H''$ die hintere Hauptebene, $K'K'$ die vordere und $K''K''$ die hintere Knotenebene und 1 sei ein im ersten Mittel vor dem Linsensystem gelegener Leuchtpunkt. Um den Verlauf eines beliebigen Strahles nach der Brechung hinter dem Linsensystem zu ermitteln, verfahre man folgendermassen: Man verlängere einen beliebigen von 1 ausgehenden Strahl 2 bis er die vordere Hauptebene schneidet und verbinde diesen Einschnittspunkt mit der hintern Hauptebene durch eine zur Achse parallele Linie 2 3, lege dann parallel mit dem Verlauf des Strahles 1 2 aus dem vordern Hauptbrennpunkt b die Linie b 4 bis sie ebenfalls die vordere Hauptebene schneidet, und verbinde auch diesen Durchschnittspunkt durch eine zur Achse parallele Linie 4 5 mit

Fig. 45.



der hintern Hauptbrennebene. Eine Linie 3 5, welche den Durchschnittspunkt von 2 3 mit der hintern Haupt- und von 4 5 mit der hintern Hauptbrennebene verbindet, stellt die Richtung des Strahles hinter dem Linsensysteme dar. — Diese Construktionsmethode gewährt um so grösseren Vortheil, als es mittelst derselben gelingt, auch den Vereinigungspunkt nicht paralleler Strahlen (der jenseits der hintern Hauptbrennebene gelegen ist) aufzufinden, wenn man nämlich mehrere Strahlen desselben Leuchtpunktes construirt und sie hinter dem Linsensysteme so weit verlängert, bis sie sich schneiden. Die in unserer Fig. angegebenen Hilfsmittel und insbesondere die Knotenpunkte geben ausserdem noch die Möglichkeit an die Hand, den sog. Richtungsstrahl eines Leuchtpunktes zu finden; es ist dieses nämlich diejenige Linie 1 6, welche sich vom Leuchtpunkt 1 gegen den vordern Knotenpunkt 6 erstreckt, die dieser parallel 7 8 vom hintern Knotenpunkt auslaufende, bezeichnet den Richtungsstrahl d. h. den Strahl, welcher unter allen vom Punkt 1 ausgehenden und durch das Linsensystem dringenden die geringste Brechung erleidet.

2. Formen, Dicken und Brechungsverhältnisse der durchsichtigen Augentheile*). — Das Gesetz, nach welchem die Fläche der Cornea gekrümmt ist, steht noch nicht fest. Die Begrenzungslinien eines horizontalen Schnittes durch die höchste Hervorragung der Cornea schliessen sich nach den genauen Messungen von Krause am besten einer Parabel an, während sie Senff für elliptisch erklärt. Die Begrenzungslinie eines senkrechten Schnittes durch die höchste Hervorragung der Cornea ist nach Senff ebenfalls nach einer Ellipse gekrümmt; nach diesem letzten Autor sind zudem die Dimensionen dieser beiden Ellipsen verschieden in der Art, dass dem Scheitel der senkrechten ein etwas kleinerer Krümmungskreis zukommt als dem Scheitel der horizontalen.— Horizontale Schnitte durch die grössten Hervorragungen der Linse liefern nach Krause elliptische Begrenzungslinien; der Krümmungskreis des Scheitels derjenigen Ellipse, welche der vorderen Fläche angehört, ist um einen grössern Halbmesser beschrieben als derjenige, welcher dem Scheitel der hintern Grenzellipse zukommt. — Aus Brechungserscheinungen, welche das Auge bietet, hat Sturm schon geschlossen, dass die brechenden Flächen des Auges nach der

*) Krause, Poggendorf. Annal. 39. Bd. (1836) p. 529. — Senff in Volkmanns, Artikel Sehen, Wagners Handwörterbuch III. Bd. I. Abthl. 271. — Ad. Fick, Erörterung eines physiolog. optischen Phänomens. Henle u. Pfeuffer. Neue Folge II. Bd. 83. — E. Brücke, Anatomische Beschreibung des menschlichen Augapfels. Berlin 1847. — Sturm sur la theorie de la vision Poggendorf. Annalen 65. Bd. 116.

horizontalen Richtung anders gekrümmt sein müssen als nach der vertikalen und Ad. Fick hat darauf ermittelt, dass der Halbmesser der horizontalen Krümmungskreise ein grösserer ist, als derjenige der vertikalen Krümmungskreise. Die absoluten Werthe der Parameter der erwähnten Curven und demnach auch der Krümmungskreise ihrer Scheitel sind bei den Augen verschiedener Individuen sehr abweichend voneinander gefunden worden.

Die Verbindungslinie der einzelnen in Betracht kommenden Krümmungsmittelpunkte soll nach Krause (und Senff?) keine gerade sein; demnach würde keine optische Axe des Auges existiren.

Die Abstände zwischen den Scheiteln der brechenden Flächen und namentlich die der Cornea von der vordern Linsenfläche; die dieser letztern von der hintern Linsenfläche und endlich der hintern Linsenfläche von der Retina sind noch nicht allseitig genug untersucht worden.

Das Brechungsverhältniss zwischen Luft und der Hornhautsubstanz ist nach Chossat $= \frac{1,330}{1,000}$; dasjenige zwischen Luft und wässeriger Augenfeuchtigkeit nach Chossat und Brewster $= \frac{1,337}{1,000}$. Die Brechungsverhältnisse des Stoffes der Linse und des Glaskörpers sind nicht bestimmbar, weil Linse und Glaskörper im Innern optisch ungleichartig und von sehr zahlreichen gekrümmten Flächen durchzogen sind; Linse- und Glaskörperstücke wirken darum, auch wenn sie mit parallelen Grenzflächen versehen nicht allein ablenkend durch das Brechungsvermögen ihres Stoffes, sondern auch durch dasjenige der in ihnen enthaltenen krummen Flächen. Um aber einen Anhaltspunkt für die optische Behandlung des Auges zu erhalten, ist man dennoch übereingekommen, die ganze Ablenkung, welche das Stück einer Linse oder eines Glaskörpers mit parallelen Endflächen hervorzurufen vermag, dem Brechungsvermögen des Stoffes zuzuschreiben. In diesem Sinne ist der Brechungsexponent der Linse*) (die Luft als Einheit angenommen) nach Senff $= \frac{1,541}{1,000}$ und derjenige des Glaskörpers nach Chossat und Brewster $= \frac{1,339}{1,000}$. — Aus diesen Thatsachen ergibt sich nun, dass man die brechenden Kräfte der Cornea, wässerigen Feuchtigkeit und des Glaskörpers als identisch ansehen darf.

Die Methoden, nach denen die vorstehenden Messungen vorgenommen wurden, sind in den gewöhnlichen physikalischen Lehrbüchern nachzusehen. Dass das, was man Brechungsverhältniss der Linse nennt, zum Theil von ihrem lamellösen Bau und nicht allein von ihrer chemischen Zusammensetzung bedingt ist, geht daraus hervor, dass, obwohl der Linsenkern stärker bricht, als die peripherischen Stücke, die Gesammtlinse dennoch noch stärker ablenkt als der Kern. — Der Einfluss der Formen im Glaskörper scheint sich weniger geltend zu machen; namentlich aber brechen, wie Pappenheim**) ermittelte, alle Schichten desselben gleichstark.

---

*) Diese Bestimmung gilt nun begreiflich nur für Linsenstücke vom grössten Dickendurchmesser, welche also sämmtliche innere brechende Flächen enthalten.

**) Compt. rend. XXV. 190.

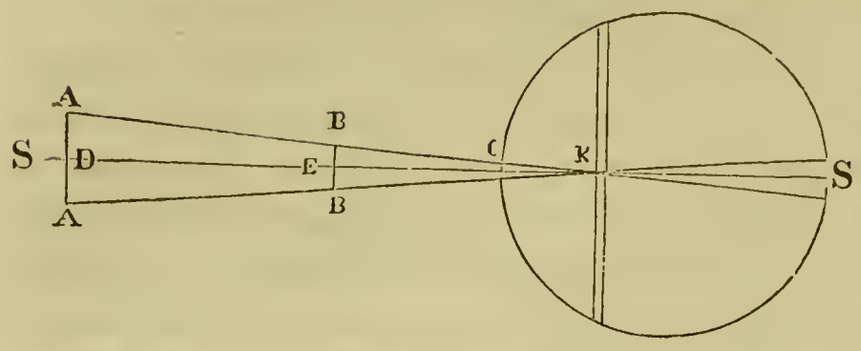
3. Das mittlere Auge *). Bei dem Mangel an Uebereinstimmung in den Maasswerthen der Elemente verschiedener Augen, welche den Gang des Strahles bestimmen, hat man sich zu verschiednen Zeiten aus sämmtlichen Messungen ein mittleres Auge abgeleitet, welches den optischen Betrachtungen zu Grunde gelegt wurde. Das beste mittlere Auge scheint das von Listing berechnete zu sein. — Die Brechungsverhältnisse desselben sind: das der Luft = 1; der wässerigen Feuchtigkeit = $\frac{1}{7}\frac{0}{7}^{3}$; der Linse = $\frac{1}{1}\frac{6}{1}$; der Glasfeuchtigkeit = $\frac{1}{7}\frac{0}{7}^{3}$; es betragen die Krümmungshalbmesser der horizontalen Begrenzungslinie am Scheitel der Cornea + 8 MM.**), der vordern Linsenfläche + 10 MM. der hintern Linsenfläche — 6 MM. Die Abstände der Scheitel jener brechenden Flächen sind endlich zwischen Cornea und vordern Linsenfläche und zwischen vorderer und hinterer Linsenfläche zu je 4 MM. angenommen. Der ganze Durchmesser des Auges ist mit Einschluss der ihn begrenzenden Sclerotica zu 24,5 MM. festgestellt. — Berechnet man für ein solches System die Lage der Brenn- Haupt- und Knotenpunkte für parallele Strahlen, welche nur um kleine Winkelabstände von der Achse einfallen, so findet sich von der Vorderfläche der Cornea aus gerechnet: der erste Brennpunkt 12,83 MM. vor der Hornhaut, und hinter ihr der zweite Hauptbrennpunkt 22,65 MM.; der erste Hauptpunkt 2,17 MM. und 0,40 entfernt von diesem der hintere Hauptpunkt; der erste Knotenpunkt 7,24 MM. und der zweite um 0,40 entfernt vom erstern. — Abgesehen von den Annäherungen, welches dieses Listing'sche Auge an die normalen Maassverhältnisse bietet, empfiehlt es sich auch noch dadurch: dass entsprechend den im Leben vorkommenden Brechungserscheinungen die hintere Hauptbrennfläche in die Retina fällt, und dass der vordere Knotenpunkt ungefähr an der Stelle liegt, welche ihr nach Messungen von Volkmann am lebenden Auge zukommt.

Das mittlere Auge nimmt dagegen auf einen wichtigen Umstand des natürlichen nicht Rücksicht, auf den nämlich, dass die Flächen des Auges weder sphärisch sind, noch auch einem Rotationskörper angehören. Von diesem Mangel kann aber vorerst noch Umgang genommen werden; ja es genügt sogar für die meisten physiologisch-optischen Betrachtungen, das Auge als einen Körper anzusehen, der nur aus einem gleichartigen optischen Mittel gebildet ist und von einer sphärischen Fläche begrenzt wird. Diese freilich schon sehr von der Wahrheit abweichende Annahme gewährt den Vortheil, dass durch sie die beiden Knoten- und Hauptpunkte auf je einen zurückgeführt werden. Das Nähere hierüber siehe bei Listing l. c. p. 493. — Die Bestimmung des vorderen Knotenpunktes ist von Volkmann nach einer Methode ausgeführt worden, die mannigfachen Ausstellungen ausgesetzt ist. Zu genauern Re-

*) Moser, über das Auge. Repertor. der Physiol. v. Dove. V. Bd. 337. — Listing. Zur Dioptrik des Auges. Wagners Handwörterbuch IV. Bd. — Volkmann. Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes. Leipzig 1836. p. 24 u. Artikel Sehen in Wagners Handwörterbuch. III. 1. Abthl. 287.

**) Das + vor 8 u. 10 im Gegensatz zum — vor 6 bedeutet, dass in den ersteren Fällen die Krümmung mit der convexen Seite nach vorn und im letztern mit der convexen Seite nach hinten schaut.

Fig. 46.



sultaten dürfte es führen, wenn man (Fig. 46) in die Verlängerung der Sehachse *SS* in verschiedener Entfernung die Mittelpunkte zweier kleinen symmetrischen und sich ähnlichen Körper *A' A* und *B' B* brächte, so dass sie sich im Auge decken; offenbar würden dann die Punkte *A* und *B* und ebenso *A'* und *B'* dieselben Richtungsstrahlen besitzen, deren Richtung durch die Punkte *A B* und *A' B'* angegeben würden. Hätte man dann den Abstand *E C*, nämlich den des Mittelpunktes unseres ersten Körpers von der höchsten Erhabenheit der Cornea, ferner die Entfernung *E D*, und die Grösse *A D* und *E B* gemessen, so würde man durch einfache Proportionsrechnung den Schnittpunkt der Richtungsstrahlen *K* und zugleich dessen Lage im Auge bestimmen können.

4. Feststellung der hintern Brennfläche bei wechselnder Divergenz der in das Auge fallenden Strahlen. Sehen in verschiedene Fernen; Einrichtung des Auges.

Mit der Entfernung des Leuchtpunktes von den Grenzflächen eines Linsensystems wechselt bekanntlich der Ort des Vereinigungspunktes hinter der Linse, oder was dasselbe der Ort des deutlichen Bildes, welches hinter der Linse von einem vor ihr liegenden Gegenstand entworfen wird. Wäre also das Problem zu lösen, trotz wechselnder Entfernung des Gegenstandes, den Abstand des Bildes von dem Linsensystem beständig zu erhalten, so würde dieses nur möglich sein, indem man die brechenden Eigenschaften der Linsen änderte in der Art, dass mit steigender Näherung die Brechkräfte der Linsen im Zunehmen begriffen wären.

Dieses Verhalten ist nun auch eine Eigenschaft des physiologischen Linsensystemes des Auges, welche durch ein eben so einfaches als geistreich erdachtes Mittel, den Augenspiegel von Helmholtz,*) zu Jedermanns Anschauung gebracht werden kann. Mittelst dieses Spiegels ist man nach geringer Uebung im Stande die Retina eines andern lebenden Menschen genau zu betrachten, und sowohl die ihr zugehörigen Formen als auch unter günstigen Umständen die auf ihr entworfenen Bilder äusserer Gegenstände scharf aufzufassen. Führt man nun die Betrachtung einer lebenden Retina mit Berücksichtigung der auf ihr entworfenen Bilder äusserer Gegenstände aus, so gewahrt man, dass wenn ein Objekt, welches vor dem Auge sich findet, auf der Retina scharf erscheint jedes ferner oder näher liegende sich nicht deutlich abbildet. Zugleich aber ergibt sich, dass es dem Auge möglich wird zu verschiedenen Zeiten auf dieselben Stellen der Sehhaut Gegenstände sehr verschiedener Entfernung genau abzubilden; hierbei tritt aber der wohl zu merkende Umstand ein, dass das ursprünglich deutliche Bild seine Schärfe verliert, so wie das Bild eines entfern-

*) Helmholtz, Beschreibung eines Augenspiegels. Berlin 1851.

teren oder näheren Gegenstandes zum Vorschein kommt, selbst wenn die Richtung der Sehachse zum ersten Objekt unverändert bleibt, so dass zu jeder Zeit die Strahlen desselben in das Auge gelangen können.

Aus allen diesem folgt nun, dass das brechende System des Auges in einem bestimmten Zustand (unveränderlich gedacht) nur von den Leuchtpunkten Bilder auf die Retina zu entwerfen vermag, welche sich in einer ganz bestimmten Entfernung von dem Auge finden; zugleich aber dass die Zustände des brechenden Systems in der Art veränderbar sind, dass auch Gegenstände sehr verschiedener Entfernung auf der Retina abgebildet werden können.

Diese letztere Eigenschaft, welche das Auge mit vielen künstlichen Linsensystemen theilt, nennt man das Einrichtungs-, oder Accomodationsvermögen des Auges.

Die Pupille des Auges erscheint bekanntlich vollkommen schwarz, obwohl sehr beträchtliche Lichtmassen, welche im Innern des Auges gespiegelt werden, aus ihr treten. Der Grund dieses scheinbar paradoxen Verhaltens ist aber durch einen Blick auf Fig. 47 klar, welche zeigt, dass alle Strahlen, welche vom leuchtenden Punkt *A* ausgehend in dem Auge bei *A'* zusammengebrochen und dann von hier gespiegelt das Auge verlassen, auch im Raum wieder bei *A* zusammengelenkt werden. Der Retinapunkt *A* und alle übrigen senden also das gespiegelte Licht immer nach dem Ort, von dem aus sie erleuchtet werden, und somit würde bei gewöhnlichem Gange der Lichtstrahlen uns die Pupille eines Andern nur dann hell erscheinen, wenn die Erleuchtung der Retina des Andern von unserm Auge ausginge. Hält man dagegen (Fig. 48) vor das Auge einen unbelegten Spiegel (eine Glasplatte) *S S* in der bezeichneten oder in einer ähnlich geneigten Stellung und bringt einen leuchtenden Gegenstand bei *L* an, so werden die von *L* ausgehenden und auf *S S* fallenden Strahlen zum Theil durch die Platte den Weg der getüpfelten Linien nehmen, zum Theil aber gegen das Auge *A A* reflectirt und von diesem nach *R* gebrochen werden. Die bei *R* vereinigten Strahlen werden nun in der Richtung wieder nach aussen geworfen, in der sie eintraten, und von neuem auf der Glasplatte anlangen. Ein Theil derselben wird nach *L* zurückgehen, ein anderer aber durch das Glas dringen und bei *B* in dem Ort zur Vereinigung kommen, in welchem auch scheinbar das Spiegelbild liegt. An diesen Ort muss nun der Beobachter, welcher den Bildpunkt *R* im Auge *A A* sehen will, seine Retina bringen. Würde er aber zu diesem Behuf sein Auge unmittelbar in den Strahlenkegel zwischen *B* und die Platte führen, so würde, wegen der stark bre-

Fig. 47.

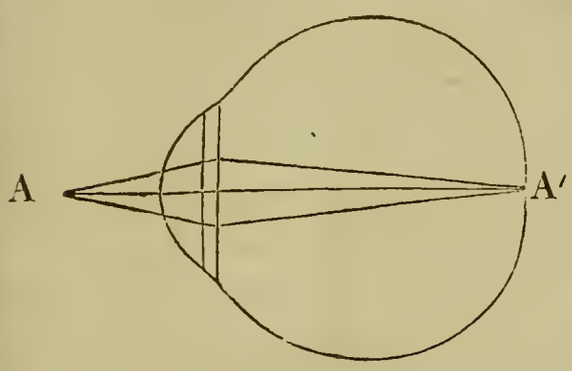
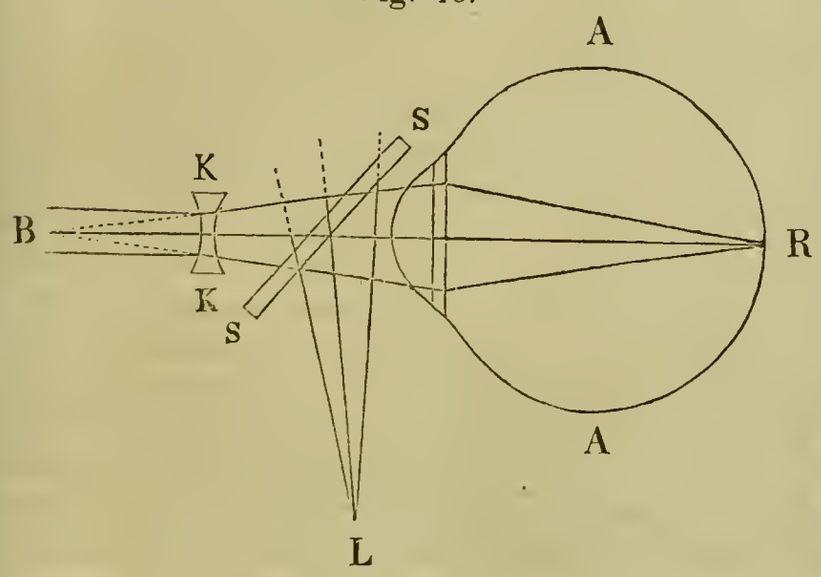


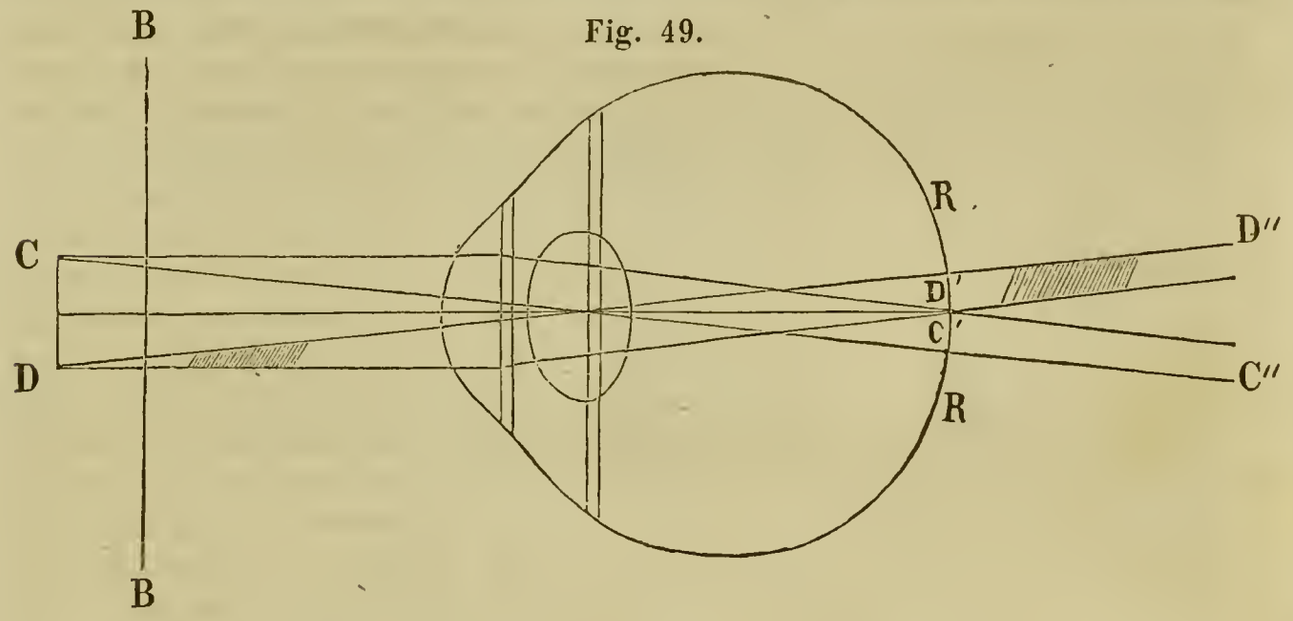
Fig. 48.



chenden Eigenschaften seines Auges, die Vereinigung der an und für sich convergirenden Strahlen schon vor der Retina erfolgen. Darum ist es noch nothwendig, in den Gang der Strahlen die zerstreuende Linse *L L* einzufügen, wodurch dieselben aus dem convergirenden in den parallelen oder divergirenden Verlauf gebracht und dann durch das beobachtende Auge wieder zusammengebrochen werden. Durch diese Mittel gelingt es, nicht allein den Punkt *R* zu sehen, sondern noch mehr, man gewahrt ihn auch vergrössert, indem das vor *R* gelegene convexe Linsensystem des beobachteten Auges ungefähr wie ein 24 mal vergrösserndes Glas wirkt. Die Theorie und das Genauere des Baues dieses auch für ärztliche Zwecke wichtigen Instrumentes siehe bei Helmholtz in der citirten Schrift.

Der Zeitraum, in welchem der Beobachter mittelst des Augenspiegels auf der Retina ein deutliches Bild des leuchtenden Gegenstandes bemerkt, trifft nun mit demjenigen zusammen, in welchem das beobachtete Auge den Gegenstand scharf wahrnimmt. Daraus folgt unmittelbar, dass ein Gegenstand nur dann deutlich gesehen werde, wenn er ein scharfes Bild auf der Retina entwirft. Die Nothwendigkeit dieses Zusammenhanges lässt sich nun auch noch anderweitig darthun*).

Fig. 49.



Nehmen wir an (Fig. 49), es sende ein unmittelbar vor der vorderen Hauptbrennebene *B B* gelegener Gegenstand die Strahlenbüschel *C C' C''* und *D D' D''* aus, so werden sie, vorausgesetzt, dass für parallele Strahlen die hintere Brennebene des Auges auf der Retina *R R* gelegen sei, weit hinter der letztern ihre Vereinigung finden. Die Punkte *C* und *D* des Gegenstandes *CD* werden demnach auf der Retina durch Kreise — die Zerstreuungskreise — dargestellt. In demselben Falle werden sich nun auch alle zwischen *D* und *C* gelegenen Punkte des Gegenstandes *C D* finden. Je nach der Grösse des Durchmessers der Zerstreuungskreise würden sich also die Bilder in mehr oder weniger grosser Anzahl neben einander liegender Punkte decken, mit andern Worten, es werden verschiedene Stellen des Gegenstandes auf dieselben Flächen der Retina ihre Strahlen senden. Dieses bedeutet aber nichts anderes, als dass die kleinen und gedrängt liegenden empfindenden Elemente der Sehhaut gleichzeitig von verschiedenen Orten Eindrücke empfangen, welche, indem sie sich gegenseitig stören, ein undeutliches Sehen erzeugen; offenbar wird also mit der Grösse der Zerstreuungskreise auch die Undeutlichkeit des Sehens wachsen; nimmt dagegen der Umfang der Zerstreuungskreise bis auf einen gewissen Werth ab, so dass derselbe die Grösse eines empfindenden Netzhautelements nicht mehr überschreitet, so wird durch noch fortschreitende Verkleinerung desselben das deutliche Sehen nicht weiter gefördert.

*) Volkmann. Neue Beiträge etc. 105 u. f.

Die Fähigkeit des Auges sich in zeitlicher Folge für Gegenstände verschiedener Entfernung einrichten zu können, ist keine unbeschränkte, indem auch die besten Augen Gegenstände, die diesseits und die meisten solche, die jenseits gewisser Entfernungen liegen nicht mehr deutlich aufzufassen vermögen. Der Raum, innerhalb dessen sich die Gegenstände bewegen dürfen, damit von ihnen der dioptrische Apparat des Auges noch scharfe Bilder auf die Retina entwerfen könne, führt den Namen der deutlichen Sehweite; die Grenzpunkte dieses Raumes heissen Nähe- und Fernpunkte.

Zur Bestimmung der Sehweite eines Auges bedient man sich eines besondern Verfahrens, (Optometrie) das auf den sogenannten Scheiner'schen Versuch gegründet ist. Das Prinzip desselben ist folgendes: Man stösst durch ein undurchsichtiges Blatt (ein Kartenblatt) zwei feine Oeffnungen, welche einander näher liegen, als der Durchmesser der Pupille, bringt dieselben nahe vor das Auge, und führt vor und zwischen beide Löcher einen feinen Gegenstand (eine Nadelspitze); indem man die Nadel von einem dem Auge sehr beträchtlich angenäherten Punkte allmählig bis zu einem beträchtlich fern gelegenen in einer horizontalen Linie fortbewegt, erscheint die Nadelspitze zuerst doppelt, dann einfach und endlich wieder doppelt. Der Raum, in welchem die Nadel einfach erscheint, ist derjenige der deutlichen Sehweite. Denn gesetzt, es stelle in Fig. 50 *A* den leuchtenden Punkt dar, der dem Auge so angenähert worden, dass die Vereinigung seiner Strahlen erst weit hinter der Retina *RR* zu Stande komme, so wird er durch den Zerstreuungskreis 3 4 auf der letztern dargestellt werden. Wird nun in das Strahlenbüschel *A* 1 2 der von zwei Oeffnungen 1 2 durchbrochene Schirm *S S* gehalten, so werden auch nur zwei, diesen Oeffnungen entsprechende, Abtheilungen des Strahlenbüschels auf die Retina fallen, während die mittlern Strahlen, durch das Stück des Schirmes *B* aufgefangen, einen Schatten dieses letztern auf die Retina werfen. Ist dagegen (Fig. 51) der leuchtende Punkt *A* in eine solche Entfernung gelegt, dass die von ihm auf das Auge fallenden Strahlen sich schon vor der Retina in *C* vereinigen, so werden sie nachdem sie im Vereinigungspunkt sich gekreuzt haben, auseinander fahren, und abermals den Zerstreuungskreis 3, 4 auf der Retina bilden,

Fig. 50.

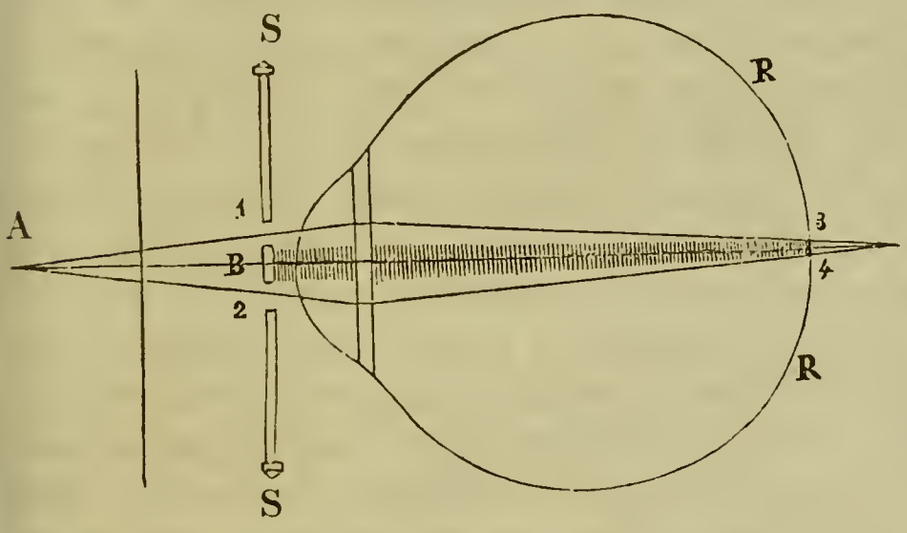
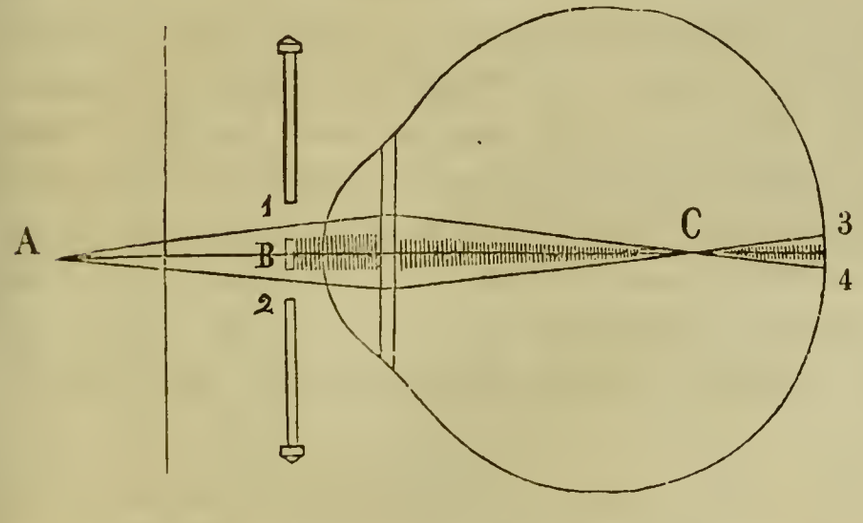


Fig. 51.



Werden nun auch in diesem Strahlenkegel durch den Schirm *S S* in der früheren Weise die mittleren Strahlen abgehalten, so werden sich bei *C* auch nur zwei Strahlenbüschel kreuzen können, welche bei 3 und 4 die Retina erleuchten. Die beiden vorgeführten Fälle unterscheiden sich darin voneinander, dass in dem ersteren die Bilder auf der Retina entsprechend den Oeffnungen vor dem Auge liegen, während sie in dem zweiten gekreuzt sich finden, so dass das auf der Retina untere Bild von den Strahlen herrührt, die durch die obere Oeffnung des Schirmes fielen und umgekehrt. — Liegt aber endlich der Leuchtpunkt *A* in einer solchen Entfernung, dass der Kreuzungspunkt seiner das Auge treffenden Strahlen auf die Retina fällt, so kann begreiflich durch Einschiebung eines Schirmes, der einen Theil dieser Strahlen abhält, keine andere Folge erzeugt werden als die, dass das Bild auf der Retina lichtschwächer erscheint.

Die Weite des deutlichen Sehens sowohl, als die Lage der Grenzen zum Auge erweisst sich nun verschieden, je nach mannigfachen Umständen. Namentlich aber ist a) das Auge niemals gleichzeitig für die in der horizontalen und vertikalen Ebene verlaufenden Strahlen eingestellt. Diese von Ad. Fick*) festgestellte Thatsache findet ihre Begründung darin, dass die in der vertikalen Ebene liegenden Krümmungshalbmesser der brechenden Flächen andere sind als die in der horizontalen Ebene vorkommenden. Nach Ad. Fick sind die Augen gewöhnlich für die Strahlen der horizontalen Ebene eingestellt. — b) Wenn das Auge für die Strahlen eingestellt ist, welche auf den mittleren Theil der Cornea fallen, so vereinigen sich auf der Retina die Randstrahlen der Cornea nicht, Moser**). Diese Erscheinung findet ihren Grund in der sphärischen Aberration. — c) Der Nähepunkt rückt nach H. Meyer***) an das Auge um einige Millimeter heran, wenn man dasselbe von aussen nach innen richtet. Auf die möglichen Gründe dieser Erscheinung werden wir alsbald eingehen. d) Die Entfernung der Grenzpunkte der deutlichen Sehweite der beiden Augen ein und desselben Individuums ist sehr häufig eine verschiedene, in der Art, dass von den beiden Augen das eine fernsichtiger ist als das andere. — e) Die Ausdehnung der deutlichen Sehweite sowohl, als die Entfernung ihres Nähepunktes von der Cornea wechselt bei demselben Individuum mit dem Alter, namentlich entfernt sich mit dem steigenden Alter der Nähepunkt vom Auge; mit andern Worten das alternde Auge wird fernsichtig. — f) Durch eine Reihe von Arzneimitteln, welche örtlich auf das Auge angewendet werden, lässt sich der Raum des deutlichen Sehens einengen, indem durch Einträufeln von flüssigem Belladonna- und Hyoszyamusauszug der Nähepunkt sich vom Auge entfernt; man schreibt diesen Erfolg einer Lähmung des muskulösen Einrichtungsapparates zu. — g) Die Augen der einen Individuen sind entweder durch Erziehung oder durch ange-

*) Henle u. Pfeufer. Neue Folge II. Bd. — Siehe hierüber auch Müller in Poggendorfs Annalen 86 Bd.

**) Dove's Repertor. l. c.

***) Henle u. Pfeufer V. Bd. 388 (1846).

borne Eigenthümlichkeit kurzsichtiger als die der andern. Namentlich büssen die Augen durch anhaltendes Betrachten naher Gegenstände die Fähigkeit ein sich für ferne Gegenstände einzurichten (Kurzsichtigkeit), während umgekehrt nach lange Zeit fortgesetztem Sehen in die Ferne das Auge in einen Zustand geräth, in welchem stark divergirende Strahlen ihren Brennpunkt nicht mehr auf der Retina, sondern hinter derselben finden (Fernsichtigkeit) *).

Diese Mittheilungen zeigen, dass es unthunlich sei, den Umfang der deutlichen Sehweite des menschlichen Auges im Allgemeinen in Zahlen ausgedrückt anzugeben. — Zahlreiche Beobachtungen haben nur den allgemeingiltigen Satz festgestellt, dass die in das Auge convergirend einfallenden Strahlen niemals auf, sondern immer vor der Retina ihre Vereinigung finden. Augen, denen das Einrichtungsvermögen im besondern Grade zukommt, vereinigen die aus unendlicher Ferne (parallel) kommenden Strahlen ebensowohl, als die aus einem Augenabstand von 80 bis 100 M. M. ausgehenden auf der Retina.

Die innern Veränderungen, welche im Auge vorgehen müssen, um den Vereinigungspunkt der Strahlen bei wechselnder Entfernung des Leuchtpunktes auf der Retina zu fixiren, beruhen auf der Verkürzung willkürlich beweglicher Muskelröhren und zwar scheint die Verkürzung derselben dem Einrichtungszustand des Auges für die Nähe zu entsprechen. Mit einiger Wahrscheinlichkeit darf dann noch der Zusatz gemacht werden, dass durch die Muskelverkürzung die Linse im Auge nach vorn geschoben werde, Hueck*).

Diese Angaben halten wir für berechtigt, weil wir willkürlich unser Auge für verschiedene Entfernungen anpassen können, und weil eine messbare Zeit nothwendig ist, wenn wir von der genauen Betrachtung eines entfernten zu der eines nahen Gegenstandes übergehen wollen; diese Zeit, welche nach Volkmann***) durch den Scheinerschen Versuch messbar sein soll, nähert sich derjenigen an, welche zu kleinen Muskelverkürzungen nothwendig ist. — In dem Zustand einer vollkommenen Ruhe, bei geschlossenen Augenliedern, scheint das Auge für die Ferne eingerichtet zu sein, wie wir daraus schliessen, dass nach Eröffnung der Augenlieder jedesmal die Accommodation für die Ferne vorhanden ist; Volkmann; und weil wir uns beim Sehen in die Nähe einer Anstrengung des Auges bewusst werden.

Die Hypothesen über den optischen Mechanismus, welcher dem Sehen in verschiedene Entfernungen zu Grunde liegt, sind zwar sehr zahlreich, aber bei weitem der grösste Theil derselben verdient der Vergessenheit anheim gegeben zu werden. Zu diesen letzteren zählen alle diejenigen, welche behaupten, dass auch ohne irgend welche vorgängige Veränderung im Auge, alle Strahlenbüschel auf der Retina ihre Vereinigung fänden, die von einem Leuchtpunkt innerhalb der Sehweite aus-

*) Holke Disquisitio de acie oculi u. s. w. Siehe in Valentins Lehrbuch d. Physiologie II. Bd. 3. Abthl. 250.

**) Die Bewegung der Krystallinse. Leipzig 1841.

***) Wagners Handwörterb. III. 1. 309.

gehen*). Diese Annahme verlangt, dass das Auge gleichzeitig für alle in der Sehweite gelegenen Gegenstände accommodirt sei; da unser Auge aber in Wirklichkeit nur für die Gegenstände einer einzigen Entfernung eingerichtet ist, resp. wenn wir einen Gegenstand sehen, uns alle anderen undeutlich werden, so ist der Gegensatz zwischen ihr und den Thatsachen bemerkenswerth genug. — Fernerhin sind zu verwerfen diejenigen Annahmen, welche auf eine Veränderung des Brechungscoeffizienten der Augenmittel und eine Veränderung der Krümmungshalbmesser der brechenden Flächen zählen. — Wenn man glaubte, dass durch eine irgendwie eingeführte Compression der Augenmittel die Brechungskoeffizienten derselben erhöht werden, und somit der Brennpunkt des Auges verschoben werden könnte, so bedachte man nicht wie wenig compressibel die Augenflüssigkeiten sind. — Ein Apparat zur Veränderung der Krümmungshalbmesser der brechenden Flächen besteht aber entweder gar nicht, wie z. B. an den Linsenflächen, oder es verändern sich thatsächlich bei der Accommodation des Auges für verschiedene Fernen die Flächen nicht, wie dies für die Cornea durch sehr genaue Versuche von Kohlrausch und Senff erwiesen ist**). Es bleiben demnach von der Summe der möglichen Erklärungen nur diejenigen übrig, welche eine Entfernung der Retina von einer oder allen brechenden Flächen voraussetzen. In diesem letzten Sinne können aber nur zwei Hypothesen aufgestellt werden***).

Nach der ersten von beiden verändert sich die Augenachse durch den Druck, welchen die Augenmuskeln auf den Augapfel ausüben. Diese Annahme schliesst in so fern nichts ungereimtes in sich, als nicht bestritten werden kann, dass unter gewissen Voraussetzungen die Augenmuskeln eine Verkürzung oder eine Verlängerung der Augenachsen herbeizuführen im Stande sind, ohne zugleich Dreh- oder Ortsbewegungen zu bewerkstelligen. Zur Erfüllung dieser Bedingung genügt es, dass die auf das Auge wirkenden Kräfte am Mittelpunkt desselben nach den drei Dimensionen des Raumes im Gleichgewicht sind; sie werden dann offenbar das Auge drücken, ohne es zu bewegen. Diese Bemerkung nimmt die Schwierigkeit hinweg, welche die meisten Physiologen veranlasste, die vorliegende Hypothese zu verwerfen, die nämlich, dass die Accommodation für verschiedene Entfernungen bei derselben Stellung und umgekehrt bei gleichen Entfernungen für verschiedene Stellungen des Auges möglich sei†); denn offenbar kann der durch den Druck veränderte Bulbus, dessen Mittelpunkt im Gleichgewicht sich findet, noch alle anderen möglichen Bewegungen ausführen. — So unangreifbar demgemäss von dieser Seite die Hypothese ist, so unwahrscheinlich wird sie, wenn man bedenkt, wie sehr die Retina, welche schon sanfte Drücke schmerzlich empfindet, durch die starken Drücke, die der prall gespannte Augapfel zu einer Formveränderung bedürfte, leiden müsste. Man bestreitet ausserdem (Rüte) ihre Giltigkeit, weil pathologische Fälle von vollkommener Lähmung der Augenmuskeln ohne wesentliche Beeinträchtigung des Accommodations-Vermögens beobachtet sind, und umgekehrt nach Einträufeln von Belladonnaexract in das Auge die Accommodation geschwächt ist, ohne dass die Augenmuskeln in ihrer Funktion irgend wie beeinträchtigt wurden. Zudem müsste erst auch bewiesen sein, ob und welche Formveränderungen die Augenmuskeln erzeugen. Zu Gunsten dieser Annahme führt man an, dass durch das Optometer bei einzelnen Individuen nachweissbar sei, wie das Auge bei seiner Stellung nach innen kurzsichtiger werde, als bei einer solchen nach

---

*) Die eleganteste unter diesen hat Sturm in einer lesenswerthen Abhandlung entwickelt. Poggend. Annal. 65. Bd.

**) Wie sehr sich die Verhältnisse bei Vögeln anders gestalten als beim Säugethier ist aus der ausgezeichneten Abhandlung von Brücke zu ersehen. Ueber den Muscul. cramptonianus u. den Spannmuskel der Choroidea. Müllers Arch. 1846.

***) Listing, Zur Dioptrik des Auges, Wagners Handwörterbuch IV. Bd. 498.

†) Donders, Ueber den Zusammenhang zwischen d. Convergiren der Sehachsen etc. Valentins Jahrb. f. Physiol. 1849. p. 153.

aussen, und dass man durch einen Druck auf die Vorderfläche der Sclerotica einen Kurzsichtigen fernsichtig zu machen im Stande sei. Diese Beobachtungen verdienen noch weitere Verfolgung*).

Nach der anderen weit ansprechenderen Hypothese wird die Verschiebung des Brennpunktes durch eine Veränderung in der Linsenstellung erzielt. Der Mechanismus, durch den die Bewegung der Linse möglich ist, ruht in der Gegenwart und der Ansatzweise des m. tensor choroideae, in der Anheftung der Linse an den Glaskörper, dem Abschluss der wässerigen Feuchtigkeit von dem Zwischenraum zwischen Choroidea und Retina, in der Anwesenheit der Choroidea, der plicae und processus ciliares, in der Nachgiebigkeit der Gefässmembranen und endlich in der annähernden Gleichheit der Spannung, unter der sich die Augenflüssigkeit und das Blut in den Aderhäuten findet. — Untersuchen wir zunächst, Fig. 52 und 53, die Wirkungsweise des m. tensor choroideae (die Schraffirung bei *T T*), unter der Voraussetzung, dass sich seiner Wirkung kein anderer Widerstand bietet, als derjenige, welcher von der Steifheit der angezogenen Membranen herrührt, so ergibt sich, dass er bei seiner Zusammenziehung einen jenseits der hintern Linsenfläche gelegenen Ring der Choroidea und demnach einen solchen der innig damit verbundenen Glashaut nach vorn zuziehen vermag, wodurch er einen Ring grösseren Durchmessers auf einen solchen kleinern reduziren wird; in Folge dessen wird der Aequator des Glaskörpers abgeplattet und die auf dem vordern Glaskörperende sitzende Linse nach vorn geschoben. Die Umwandlung der Formen machen in karrikirter Zeichnung, Fig. 52 und 53 deutlich. Die erstere stellt die Form des Glaskörpers bei ruhendem, die zweite bei zusammengezogenem Muskel dar.

Fig. 52.

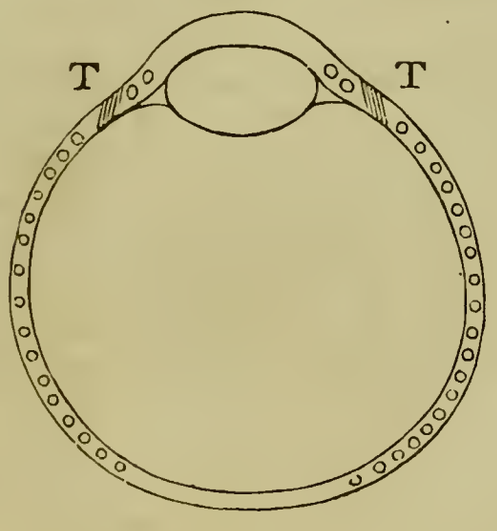
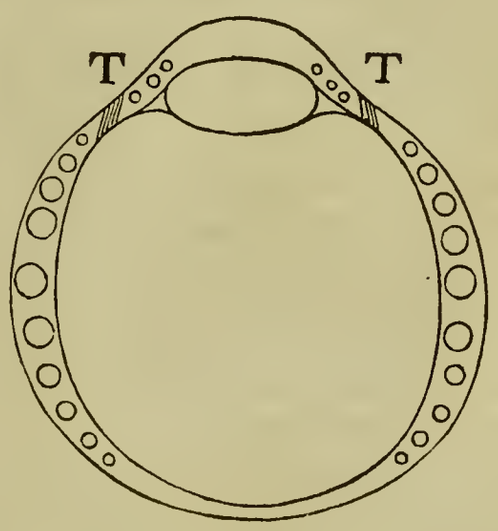


Fig. 53.



Gehen wir nun aber zu Widerständen der Bewegung über, so ergibt sich, dass die Linse nicht in den prall mit der wässerigen Feuchtigkeit angefüllten vorderen Raum dringen kann, wenn nicht irgendwie Platz gewonnen wird, und dass der Glaskörper keine Abplattung seines Aequators erfahren kann, wenn nicht entweder die Sclerotica sammt dem Fettpolster folgt, oder der zwischen Choroidea und Sclerotica entstehende Raum ausgefüllt wird. Beide Bedingungen, die Entleerung der Augenkammern und die Anfüllung des Raumes zwischen Choroidea und Sclerotica können möglicherweise erfüllt werden durch die Anfüllung resp. Entleerung der Choroidealgefässe und der plicae und processus ciliares, deren Lage wie die Fig. 52 und 53 zeigen, in der That vollkommen passend zu diesem Zwecke angeordnet ist. In den Figuren bedeuten die im Choroidealraum liegenden Kreise Durchschnitte der Gefässe bei verschiedenen Linsenstellungen.

*) H. Meyer, Ueber den Einfluss der Augenmuskeln für die Accommodation des Auges. Henle u. Pfeufer V. 388.

Die Wahrscheinlichkeit für die Annahme, dass die Aderhäute des Auges in ebenbezeichneter Weise die Linsenbewegung unterstützen, wird sehr erhöht: 1) Wenn man auf den verhältnissmässig grossen Durchmesser der einzelnen sie constituirenden Gefässe Rücksicht nimmt; 2) durch die von C. Weber und mir gemeinschaftlich gewonnene Beobachtung, wonach die Gefässhäute im Auge so nachgiebig sind, dass ein in der vordern Augenkammer luftdicht eingesetztes Manometer auf dem Kymographion (siehe d. Pulslehre im Abschnitt vom Blutkreislauf) jede Veränderung des Pulses, rühre sie vom Herzschlag oder Respirationswirkung her, aufzeichnet mit Excursionen, die im Manometer bei einem Hundeauge von mittlerer Grösse bis zu 0,8 Kubikzentimeter betragen; 3) dass der hydrostatische Druck, unter welchem die Flüssigkeit in den Augenkammern liegt, nahe an den mittleren Seitendruck reicht, welchen die Wandungen grösserer Gefässe zu ertragen haben. Man sieht, dass unter diesen Umständen nur geringe Zuwächse zu dem in der vordern Augenkammer vorhandenen Drucke hinreichen, um das Uebergewicht auf Seite der wässerigen Feuchtigkeit zu bringen.

Mit der Darstellung der Möglichkeit der Linsenbewegung durch diesen Apparat ist nun freilich noch nicht erwiesen, dass die Linse durch ihn in der That bewegt wird; unzweifelhaft kann dieses — wie mir einige Vorversuche zeigten, — durch einen Fühlhebel bewerkstelligt werden, der in einem von Wasser erfüllten und mit der vordern Augenkammer kommunizirenden Raume leicht aufgehängt vor die vordere Linsenfläche gebracht wird; er müsste eine Bewegung der Linse nach vorn anzeigen, wenn man nach Durchschneidung der Augenmuskeln den m. tensor choroideae mittelst zweier gegen ihn eingestochenen Nadeln, durch welche ein wechselnder Induktionsstrom ginge, erregte. Dieser schwierige und delikate Versuch ist nur an Hunden, welche einen etwas beträchtlichen m. tensor choroideae besitzen, ausführbar.

Die Vertheidiger der Hypothese von der Linsenbewegung als der Ursache der Accommodation führen nun zu ihrer Unterstützung noch an; a) Man könne in der That bei Accommodation für die Nähe das Vorrücken der Linse beobachten, welche die Iris vor sich herschiebe und wölbe. Hueck*) gibt die Grösse dieses Vorschiebens von 0,7 bis zu 1,7 M. M., und Listing**) zu 1,5 M. M. an. Andere Beobachter läugnen aber noch die Anwesenheit dieser Erscheinung. — b) Individuen, die in Folge der Staaroperationen die Linsen verloren haben, büssen das Vermögen, in verschiedene Fernen zu sehen, ein. Auch diese Beobachtung erfährt Widerspruch, indem mehrere Kranke, die einige Jahre nach Vollendung der Operation untersucht wurden, das Accommodationsvermögen wieder gewonnen hatten; man sucht nun diesen letzteren Beobachtungen ihre Beweiskraft gegen die Hypothese von der Linsenbewegung dadurch zu rauben, dass man annimmt, es möchte sich die Linse (wie das nach ärztlicher Erfahrung häufig geschieht) in diesen Fällen regenerirt haben. Zudem wäre auch beim Fehlen der Linse eine beschränkte Accommodation durch Verschieben der tellerförmigen Grube, welche dann als die zur Hornhaut gehörige hintere Fläche einer biconvexen Linse betrachtet werden könnte, immer noch gedenkbar. c) Durch Einträufeln von Belladonna-Extrakt in das Auge wird das Accommodationsvermögen geschwächt und das Auge zugleich fernsichtiger, wie es in der That die Theorie verlangt, wenn durch Aufnahme des wirksamen Stoffes der Belladonna in die wässerige Feuchtigkeit der m. tensor choroideae gelähmt wird.

Der entscheidende Versuch für die vorliegende Hypothese kann nach meinem Dafürhalten dann geliefert werden, wenn es gelingt, mittelst der Schläge eines elektrischen Induktionsapparates, die man durch ein paar feine nahe dem Cornearande oberflächlich in die Sclerotica gebrachte Drahtspitzen einleitet, den m. tensor

*) Bewegung der Krystalllinse. Leipzig 1841.
**) Wagners Handwörterbuch IV. Bd. p. 504.

choroideæ zur Contraktion zu veranlassen, ohne dass die Augenmuskeln an der Bewegung Theil nehmen; ist die Thätigkeit des m. tensor choroideae und der mit ihm verbundene Apparate Ursache der Accommodation für die Nähe so muss in diesem Versuche während der Erregung das Auge kurzsichtig werden.

Die Behauptung, dass von dem wechselnden Durchmesser der Pupillenöffnung die Einrichtung abhängig sei, verdient, als widerlegt, hier keine Stelle mehr.

Da wir den Mechanismus des Einrichtungsvermögens noch nicht kennen, so gewährt es keinen Vortheil darauf einzugehen, welche Veränderungen das Auge und namentlich die Verschiebung der Linse u. s. w. erleiden müsse, um das Sehen unendlich oder 100 MM. entfernter Gegenstände möglich zu machen.

Dagegen ist es von Wichtigkeit die Durchmesser der Zerstreuungskreise festzustellen, welche ein leuchtender Punkt auf der Retina des mittleren (Listing'schen) Auges bilden würde, wenn dieses kein Einrichtungsvermögen besässe. Nach Listing würden dieselben betragen für:

Entfernung des Leuchtpunktes.	Durchmesser d. Zerstreuungskreise.
unendlich	0 MM.
65000 MM.	0,0011 MM.
25000 - -	0,0027 - -
12000 - -	0,0056 - -
6000 - -	0,0112 - -
3000 - -	0,0222 - -
1500 - -	0,0443 - -
750 - -	0,0825 - -
375 - -	0,1616 - -
188 - -	0,3122 - -
94 - -	0,5768 - -
88 - -	0,6484 - -

Aus dieser Tabelle ergibt sich, dass das mittlere Auge keiner Einrichtung bedarf, wenn sich der Gegenstand vom Unendlichen bis auf 65000 MM. nähert, weil bei dieser Annäherung die Zerstreuungskreise so ausserordentlich gering werden, dass sie der Retina als noch gar nicht vorhanden erscheinen. Je mehr sich dagegen von dieser Grenze an die Gegenstände dem Auge nähern, um so beträchtlicher werden die Zerstreuungskreise, wonach behauptet werden darf, dass für gleiche Unterschiede der Entfernung in weiten Abständen eine geringere Accommodationsbewegung nöthig als für dieselben Unterschiede in nahen Abständen. Daraus folgt dann noch, dass kurzsichtige Augen meist zu grösseren Accommodationsanstrengungen befähigt sind als weitsichtige.

Ueber die Stellung des uns noch unbekannten nervösen Theiles des Einrichtungsapparates zu andern Hirn- und Nervenmassen wird wesentlich unter dem Abschnitt Sehen die Rede sein. Hier ist nur anzumerken, dass er bei willkürlicher Erregung der mm. rect. interni, meist aber nicht immer, ebenfalls in Thätigkeit gesetzt wird; Porterfield.

Die Zerstreuungsbilder, welche sich bei unvollkommener Einrichtung auf der Retina bilden, sind nach Umständen sehr mannigfacher Gestaltung fähig; von zahlreichen in dieser Richtung unternommenen Beobachtungen heben wir nur heraus:

a. Ein leuchtender Gegenstand *), der diesseits des Nähepunktes tritt, wird in der horizontalen und ein solcher, der jenseits des Fernpunktes zu stehen kommt, in der vertikalen Richtung verlängert; so wird ein Punkt zu einer Linie, die um einen rechten Winkel gedreht ist, je nach seiner Stellung diesseits oder jenseits des deutlichen Sehraumes. Eine kurze Ueberlegung zeigt, dass dieses Folge der ungleichen Krümmung der brechenden Flächen ist, indem die in horizontaler Richtung liegenden Krümmungskreise grösser und somit schwächer brechend als die in vertikaler Richtung gelegenen sind. Diese Abweichungen sind häufig gross genug um zu ihrer Verbesserung besonders geschliffene (Cylinder) Brillen zu verlangen.

b. Innerhalb des Zerstreuungskreises conzentrirt sich nach einzelnen Stellen hin das Licht vorzugsweise, so dass bei Betrachtung eines Gegenstandes durch nur ein Auge mehrfache Bilder entstehen. Diplopia monophthalmica**). Je nachdem die Scheitel sämmtlicher brechenden Flächen nicht auf einer Achse liegen, oder je nachdem Seiten oder Mitteltheile des Systems an Brechkraft überwiegend sind, können diese hellen Stellen bald hier bald dorthin fallen.

5. Ueber sphärische Abweichung des Auges; Mittel sie zu vermindern.

Da den optischen Principien gemäss nur diejenigen Flächen einer gewöhnlichen Linse den durchgehenden Strahlen einen gemeinsamen Brennpunkt anweisen, deren Einfallsorte einen kleinen Winkel an dem Krümmungsmittelpunkt einschliessen, oder die symmetrisch zur Achse gelegen sind, so müssen, wenn die Einheit des Brennpunktes aufrecht erhalten werden soll, entweder nur die erwähnten Strahlen zu seiner Entwerfung benutzt werden, oder es müssen besondere Einrichtungen gegeben sein, welche die sphärische Abweichung aufheben. — Das Auge gehört nun, weil es mit einer Blendung von wechselnder Oeffnung — der Iris mit Pupille — versehen ist, zu denjenigen Linsensystemen, welche die beiden Wege einschlagen können; denn in der That benuzt es bei beträchtlicher Lichtstärke des Leuchtpunktes nur die in der unmittelbaren Nähe der Achse auffallenden Strahlen, während des bei Lichtschwäche auch noch die entfernteren aufnimmt. In diesem letzteren Falle treten dann besondere Hilfsmittel in Wirksamkeit.

a. Iris ***). Vermöge ihrer Lagerung zwischen der Hornhaut und Linse näher zu dieser letztern, ist sie befähigt den Durchmesser des Strahlenkegels der durch beide zur Retina dringt zu beschränken;

---

*) Sturm sur la théorie etc. l. c. — H. Meyer, Zeitschrift von Henle u. Pfeufer. V. Bd. 368. — Challis, Philosoph. Magazin XXX. 366. A. Fick l. c.

**) Tourtual, Jahresbericht über Physiologie des Gesichtssinnes. Müllers Archiv 1840. XLV u. f. — Volkmann, Artikel Sehen p. 29.

***) E. H. Weber, Summa doctrinæ de motu iridis ex. ann. 1851. Annotationes anatomicæ etc. fascic. III.

sie hat in der That genau die Lage und Form aller sogenannten Blendungen optischer Instrumente.

Die Beweglichkeit der Oeffnung sowohl, wie die besondere Form der Bewegungen, verdankt die Iris zwei besondern Muskeln*) einem radialen, vom Hornhautrand zur Pupille verlaufenden und einen cirkulären, der in grössern und grössern Bogen die Pupillenöffnung umkreist. — Von diesen beiden Muskeln scheint nach Ed. Weber der radiale das Uebergewicht zu besitzen, indem bei gleich starker Erregung beider, die Pupille sich beträchtlich erweitert.

Die Muskeln erhalten ihre Nerven**) von sehr verschiedenen Orten aus, die cirkulären empfangen sie aus dem n. trigeminus mit dem centralen Ursprung aus den obersten Rückenmarkstheilen (?) Budge, und durch den n. oculomotorius mit dem Ursprung aus den Vierhügeln. Die Nerven der Erweiterer treten dagegen durch den Halstheil des n. sympathicus aus der mittleren Region des Halsmarkes zum Auge. Diese beiden Nerven gelangen im gewöhnlichen Verlaufe des Lebens unter verschiedenen Umständen in Erregung.

Der Kreismuskel zieht sich zusammen: α) wenn der nerv. opticus in den Erregungszustand geräth***). Rücksichtlich der Lichtwirkung hat Lambert ermittelt, dass innerhalb gewisser Grenzen die Pupillenöffnung direkt proportional mit der abnehmenden Lichtstärke sich erweitert. β) Wenn der innere gerade Augenmuskel in Thätigkeit gesetzt wird, zieht sich auch der Kreismuskel zusammen; insofern nun der erstere vom Willen abhängig ist, folgt auch der sphincter iridis demselben. γ) Im Schlaf verengert sich die Pupille beträchtlich. — Die Kreismuskeln der Iris beider Augen stehen in der innigsten Beziehung zu einander, die sich dadurch ausdrückt, dass fortwährend dem Bestreben Genüge geleistet wird, die beiden Kreismuskeln auf gleichem Grade der Verkürzung zu erhalten; denn in der That verkleinert sich jedesmal die Pupille beider Augen, wenn auch nur auf das eine derselben ein verengernder Einfluss wirkt; und es tritt für eine bestimmte Menge von Licht, welche n. den opticus erleuchtet, dieselbe Summe der Verkürzungen beider Kreismuskeln ein, sei es dass man die Lichtmassen vertheilt auf beide Augen, oder vereinigt auf nur eines von beiden wirken lasse.

Durch genaue Versuche von E. H. Weber ist der alte Irrthum widerlegt worden, als ob auch mit den Akkommodationsbewegungen des dioptrischen Apparates sich der Kreismuskel zusammenziehe; diese fehlerhafte Meinung ist dadurch erzeugt worden, dass bei einer Einrichtung für die Nähe gewöhnlich auch die Augen durch den m. rectus internus bewegt, d. h. stark convergirend gestellt werden. E. H. Weber macht auch darauf aufmerksam, dass man bei Messungen

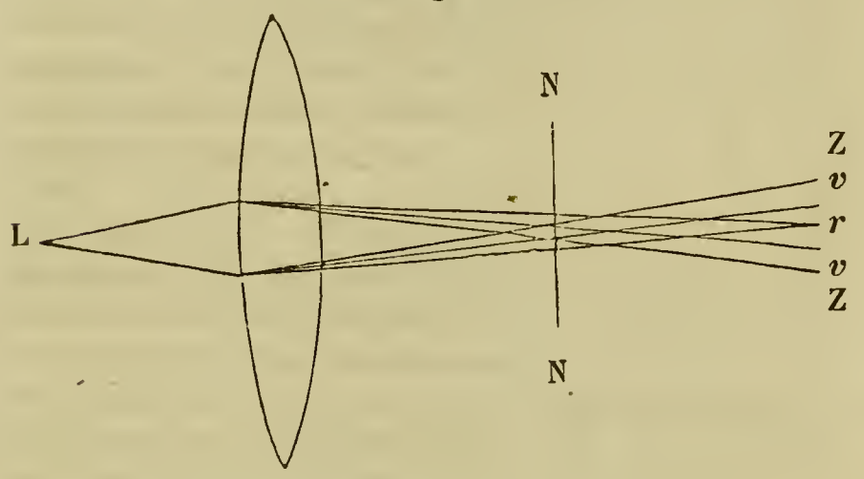
*) Brücke, Beschreibung des menschlichen Augapfels. Berlin 1847.
**) Budge u. Waller in Valentins Jahresbericht d. Physiol. für 1851. 173.
***) Mayo sur les nerfs etc. in Magendie's Journ. de physiol. Tom. III. — Lambert bei E. H. Weber p. 95.

letter, eine Thatsache, die Fraunhofer zuerst festgestellt hat. Dann aber muss auch jeder weiss beleuchtete Gegenstand auf die Retina ein Bild mit farbigen Säumen werfen; dieses geschieht nun auch und man bemerkt dieselben theils wenn man den Gegenstand nicht genau auf die Retina einstellt, sondern im Zerstreuungskreis ansieht, theils aber auch wenn man einen Gegenstand scharf visirt, während man die Pupille halb zudeckt; Tourtual.

Die Augen Fernsichtiger sind mit einer stärkeren chromatischen Aberration behaftet als die Nahsichtiger; Matthiessen.

Der Grund warum bei halbverdeckter Pupille die Farbensäume der Bilder schärfer hervortreten, ist in Fig. 55 erörtert. Gesetzt, es sende *L* weisses Licht auf ein beliebiges Linsensystem, so wird hinter der Linse das weisse Licht in seine farbigen Componenten zerlegt sein, und zwar werden in dem Zerstreuungskreis Z Z die Farben so aufeinander, dass an der Peripherie desselben violett *v v* und im Mittelpunkt roth *r* zu liegen kommt. — Setzen wir nun die Retina in den Ort höchster Lichtconcentration *N N*, so wird das zerlegte Weiss des untern Strahls sich mischen mit dem zerlegten Weiss des obern, mit andern Worten: es wird sich die Zerstreuung der beiden Strahlen compensiren; diese Compensation hört aber sogleich auf, wenn man den einen Strahl abschneidet, während man den andern noch eintreten lässt. Diese Betrachtung lehrt, dass nach Verdeckung der rechten Pupillenhälfte die Farbensäume in umgekehrter Ordnung auftreten als nach Verdeckung der linken Hälfte. Ferner zeigt sie, dass wir genau genommen immer nur Zerstreuungskreise sehen. —

Fig. 55.



Einrichtungen zur Spiegelung der Lichtstrahlen im Auge.

An der Grenze zweier Mittel, die ein Lichtstrahl überschreitet, wird immer Licht zurückgeworfen; demnach muss auch das Auge auf innern und äusseren Flächen Spiegelungen zeigen. Diese Spiegelungen würden noch sehr viel beträchtlicher sein, wenn nicht ein grosser Theil der Augenflächen mit einem lichteinsaugenden Stoffe, dem schwarzen Pigment, ausgekleidet wäre.

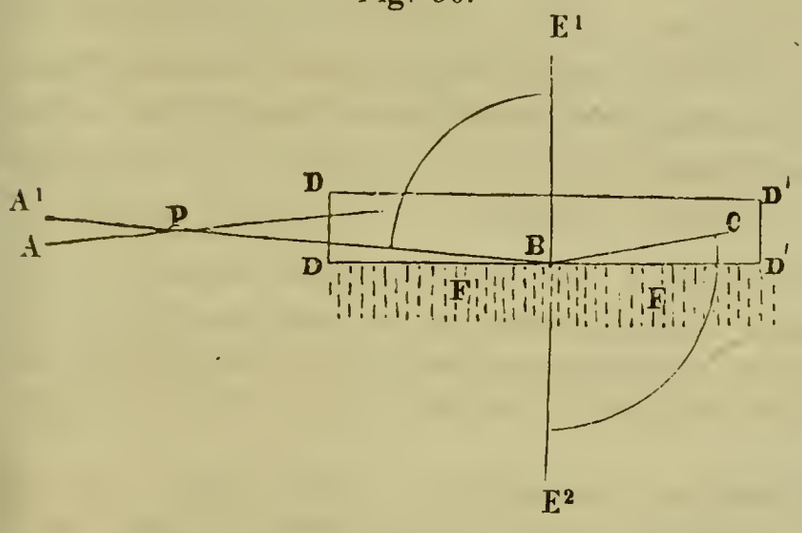
1. Spiegelung des Lichtes, welches auf der Retina zu einem Brennpunkt vereinigt war*). Bei der grossen Durchsichtigkeit der nervigten Retinatheile dringen die in ihnen zu einem Punkte vereinigten Strahlen durch sie hindurch und gelangen zunächst auf die sogenannte Stäbchenschicht. Da diese nichts anders darstellt als

*) Brücke, über die physiologische Bedeutung der stabförmigen Körper und der Zwillingszapfen in den Augen. Müllers Archiv 1844.

eine Reihe sehr kleiner Prismen, welche aufrecht gegen die Retina gestellt sind und da sie aus einem stark brechenden Stoffe bestehen, der in einen weniger stark brechenden eingebettet ist, so müssen, wie Brücke darthat, die unter den erwähnten Bedingungen in sie eingetretenen Strahlen eine totale Reflexion erleiden, so dass das in einen Stab eingedrungene Licht wieder auf demselben Wege aus ihm tritt, auf welchem es in ihn gelangte.

Der Beweiss für die Richtigkeit der Annahme von Brücke ergibt sich aus Fig. 56. In ihr bedeuten A^1 A zwei Strahlen, welche in P nahe vor dem Prisma D D sich kreuzen; F F ist das Mittel von geringer Brechkraft, welches das Prisma begrenzt. Der grössern Einfachheit wegen werden wir in dieser Figur den Gang nur eines von beiden Strahlen betrachten. Dringt nach der Kreuzung der Strahl A^1 in das Prisma, so wird er auf der Fläche D D^1 einen Einfallswinkel A^1 B E^1 bilden, welcher sich einem rechten sehr annähert; beim Uebertritt in das neue schwächer brechende Mittel F wird der Brechungswinkel grösser als der Einfallswinkel werden müssen. Geschieht diese Vergrösserung um ein Merkliches, so dass der Brechungswinkel einen rechten übersteigt und etwa den Werth C B E^2 erreicht, so wird er gar nicht in das zweite Mittel eintreten, mit andern Worten er wird von seinen Flächen zurückgeworfen werden.

Fig. 56.



Diese Einrichtung zur Regelung der Spiegelung hinter der empfindenden Fläche ist eine nothwendige Ergänzung zu der vorsorglichen Anordnung der brechenden Flächen; indem nur durch die Gemeinschaft beider die Aufgabe: eine genau beschränkte Lichtwirkung zu erzeugen, lösbar war. — Denn in der That würden die ordnungslos hinter der Retina gespiegelten Strahlen die Nerven an andern Orten rückwärts durchdrungen haben als die, in welche sie vorwärts eingingen; damit wäre aber wieder dieselbe empfindende Stelle von verschiedenen Lichtern getroffen worden, die sich gegenseitig gestört haben würden.

2. Spiegelung des zerstreut in die Augen eintretenden Lichtes von der Retina*). Neben dem Licht, welches durch die Linsensysteme gebrochen seinen Brennpunkt auf der Retina findet, dringt noch Licht in das Auge, welches aus andern Entfernungen als denjenigen kommt, für welche dasselbe accommodirt ist, und anderes, welches durch

*) E. Brücke, über die leuchtenden Augen der Wirbelthiere. Müllers Arch. 1845. — Ders., über Leuchten der menschlichen Augen ibid. 1847. — Helmholtz, der Augenspiegel. p. 9.

des Pupillendurchmessers am unverletzten Auge die Vergrösserung nicht vernachlässigen dürfe, welche dieselbe für die Beobachtung durch die Cornea des beobachteten Auges erfährt, die als eine vergrössernde Linse vor der Pupille sitzt; das einfache empirische Mittel, um diese Wirkung der Cornea zu eliminiren, besteht darin, dass man das Auge unter Wasser bringt dessen freie Oberfläche eben ist. —

Der Radialmuskel verkürzt sich, d. h. die Pupille wird erweitert α) bei einigen Krankheiten und β) nach dem Einbringen von extractum Belladonnae, Hyoscyami, Stramonii und aqua Laurocerasi in das Auge. Diese Mittel wirken, gleichgiltig ob man sie direkt auf die conjuntiva bulbi angewendet, oder sie in den Blutlauf gebracht hat. Die Dauer und Stärke der Zusammenziehung nach dem Belladonnagebrauch wächst allmälig mit der Menge des angewendeten Giftes, und kann einen solchen Grad erreichen, dass Stunde und Tage hindurch die Iris nur noch als ein schmaler Streifen erscheint. Bei Säugethieren, denen der Halstheil des n. sympathicus durchschnitten ist, wirkt die Belladonna weniger kräftig. Diese Erscheinung hat man ableiten wollen von der Lähmung des n. opticus, weil die Giftwirkung sich auch auf diesen erstreckt und ihn namentlich unempfindlich macht; Himly widerlegte diese Annahme durch die Beobachtung, dass auch an solchen Individuen, deren Gesichtsnerv vollkommen gelähmt war, noch Pupillenerweiterung eintrat. — Ferner wollte man sie erläutern durch Annahme einer Lähmung des Kreismuskels; man übersah aber, dass während der Belladonnawirkung ein starker Lichteinfluss noch eine Pupillenverengerung bewirken könne. — Man ist darum jetzt geneigt zu behaupten, dass die Belladonna den Radialmuskel örtlich errege; zu dem Zusatz, dass diese Erregung eine örtliche und nicht durch das Hirn vermittelte sei, wird man veranlasst, weil durch Anwendung des Giftes auf nur ein Auge auch die Pupillenerweiterung auf dasselbe beschränkt werden kann.

Ueber den Einfluss der Wärme auf die Irisbewegung, siehe Brown — Sequard compt. rend. XXV. 508. — Die Iris der Vögel, welche aus quergestreiften Muskelfasern besteht, wird durch Belladonna nicht angegriffen; Kieser. —

b. Linsenschichtung. Wenn die Lichtintensität der Leuchtpunkte sich mindert, welche ihre Strahlen in das Auge senden, so erweitert sich die Pupille, indem die Zusammenziehung des Sphincter iridis an Stärke einbüsst. Hiermit vergrössert sich zugleich aber die Basis des Strahlenkegels, die sogenannte Linsenöffnung, welcher auf der Retina seine Spitze finden soll. Um auch unter diesen Bedingungen die Strahlen zu einem Zusammenschluss zu bringen, muss eine Einrichtung gegeben sein, welche den von der Form der brechenden Flächen herrührenden Umstand, dass die näher dem Rande auffallenden Strahlen eine stärkere Neigung zur Achse erhalten, als die um die letztere einfallenden, aufheben Dieses Hilfsmittel ist darin gefunden, dass die Linsensubstanz gegen ihren Rand hin mit einem geringeren Brechungsverhältniss begabt ist, als in ihrer Mitte. Die Ursache dieses

Unterschiedes der Brechungsverhältnisse ist aber mit Wahrscheinlichkeit in der Linsenschichtung zu suchen.

Fig. 54.

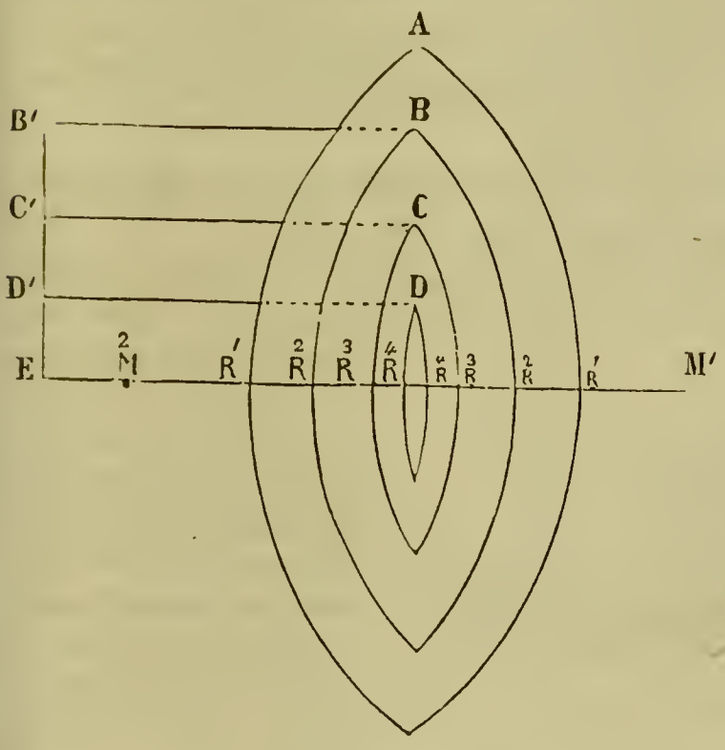


Fig. 54 stellt eine Linse dar, welche aus den vier in einander geschachtelten *A B C D* besteht; die symmetrischen Flächen derselben seien sämmtlich um die Mittelpunkte $M^1 M^2$ beschrieben, jedoch so, dass die Radien der äussersten Linsenfläche $M^1 R^1$ und $M^2 r^1$ grösser als die darauf folgenden und die Radien der innersten Linse $M^1 R^4$ und $M^2 r^4$ die kleinsten seien. Fallen durch diese Linse Strahlen in den Zwischenraum $E D^1$, so werden sie durch 8 Flächen, gebrochen während sie, wenn sie in den Raum $D^1 C^1$ laufen nur durch 6 Flächen abgelenkt werden; auf diesem zweiten Gange erfahren sie also offenbar eine geringere Ablenkung als auf dem ersten, und zwar nicht allein darum, weil überhaupt zwei Flächen ausfallen, sondern weil die ausfallenden Flächen auch noch mit dem kleinern Krümmungshalbmesser begabt sind; dieser Darstellung entsprechend wird nun die Ablenkung der durch *C B* gehenden Strahlen geringer sein, als der durch *C D* laufenden und endlich der durch *A B* gehenden noch geringer der vorerwähnten.

Die Thatsache, dass die hintern Linsenflächen um einen kleinern Halbmesser beschrieben sind, als die vordern, hat man ebenfalls auf ihre Eigenschaft, der sphärischen Aberration entgegenzuwirken, beziehen wollen. Vorerst lässt sich jedoch aus allgemeinen Grundsätzen nicht ersichtlich machen, wie dieses hierdurch möglich sei.

Das gleichzeitige Vorkommen der geschichteten Linse und der beweglichen Irisöffnung gibt dem Auge einen besonderen Vorzug, indem hierdurch die Deutlichkeit und die Lichtstärke des Bildes, selbst bei wechselnder Beleuchtung des Objektes, constant erhalten werden kann.

6. Chromatische Abweichung am Auge*).

Die optischen Medien des Auges brechen die verschiedenen Wellen des Aethers, die farbigen Lichtstrahlen, mit wesentlich verschiedener Stärke, wie dieses auch alle übrigen brechenden Substanzen thun. Namentlich folgen auch die Strahlen ihrer Brechbarkeit nach für das Auge geordnet in der gewöhnlichen Reihe: Violett, blau, grün, gelb, orange, roth. — Daraus folgt nun zweierlei: Einmal dass ein violetter Gegenstand noch in grösserer Nähe deutlicher gesehen werden kann als ein rother, und ein rother noch in grösserer Ferne deutlicher als ein vio-

*) Fraunhofer, Gilberts Annalen 56. p. 304. — Matthiessen mémoire sur le chromatisme etc. Compt. rend. XXIV. 875. — Tourtual in Meckels Archiv 1830. — Niedt de diopt. ocul. colorib. Berlin 1842. — Valée compt. rend. XXIV. 1096. Die Annahmen dieses Autors sind gänzlich unerwiesen.

die nicht vollkommen undurchsichtige Sclerotica dringt u. s. w. — Da diese Strahlen weder in der bestimmten Beziehung zu den Stäbchen noch zu dem Linsensysteme stehen, wie die vorhin erwähnten, so werden sie auch unregelmässig gespiegelt aus dem Auge austreten; in der That geschieht dieses, so dass man unter günstigen Bedingungen, welche Brücke zuerst ermittelte, die Pupille in rothem Schein leuchten sieht.

3. Spiegelung auf der hintern und vordern Fläche der Cornea und Linse *). — Drei dieser Flächen, beide Cornea- und die vordere Linsenfläche stellen Convexspiegel dar; jeder Gegenstand der ausserhalb ihrer Brennweite sich findet, liefert somit ein verkleinertes aufrechtes Spiegelbild. Die hintere Linsenfläche, als Concavspiegel, entwirft dagegen vom Gegenstand ein verkehrtes Spiegelbild. — Das Auftreten dieser Spiegelung kann an jedem Auge durch ein vorgehaltenes Kerzenlicht sichtbar gemacht werden. Purkinje's Versuch.

Polarisirende Wirkungen der brechenden Mittel**).

Die durchsichtigen Augenmittel und namentlich Cornea und Linse sind so vielfach geschichtet, dass sie einem Plattensatz spiegelnder Fläche zu vergleichen sind. Mit diesem theilen sie die Aehnlichkeit, dass sie das Licht wie ein solcher polarisiren. Erlach.

Diese nachweislich polarisirende Eigenschaft der todten Linse (und der Cornea?) drückt sich im Leben nach Haidinger auch dadurch aus, dass von der Polarisationsebene eines passend vor das Auge gehaltenen Nichols farbigé Büschel ausstrahlen.

Empfindende Werkzeuge des Auges. Retina, Sehnerv.

1. Lichtempfindung. Erregungsmittel derselben. Den erregten Zustand der Retina empfinden wir als weisses oder gefärbtes Licht; der physiologische Ruhezustand derselben erweckt uns dagegen die Vorstellung der Dunkelheit. Die empfindungserregenden Zustände der Retina werden ausgelöst unter dem Einfluss der Aetherschwingungen, mechanischer Eindrücke und elektrischer Ströme.

Da die Wellen des Aethers vorzugsweise die Retina erregen, und da zudem nur die durch sie erregten Empfindungen als ein Element in den zusammengesetzten Akt des Sehens eingehen, so hat man dieselben geradezu Licht und Farben genannt. Die Ueberlegung, dass auch mechanische und elektrische Einwirkungen auf das Auge die Empfindung des Lichtes erzeugen, gibt uns das Recht jenen populären Ausdruck für physiologisch fehlerhaft zu erklären, und die Behauptung festzuhalten, dass Licht und Farbe nichts anderes seien als Erregungszustände der Retina und des Sehnerven.

A. Aetherschwingungen***). Die Berührungen des Licht-

---

*) Purkinje commentatio de examine physiologico organi visus. Vratislav. 1823. — H. Meyer, über den Sanson'schen Versuch. Henle u. Pfeufer Zeitschrift V. Bd.

**) K. v. Erlach, Mikroskopische Beobachtungen über organ. Elementartheile u. s. w. Müllers Archiv 1847. — du Bois-Reymond, Fortschritte der Physik III. Bd. 138. — Haidinger, Poggendorf Annalen 53., 55. u. 58. Bd. u. Fortschritte der Physik II. Bd. 183, III. Bd. 149-155.

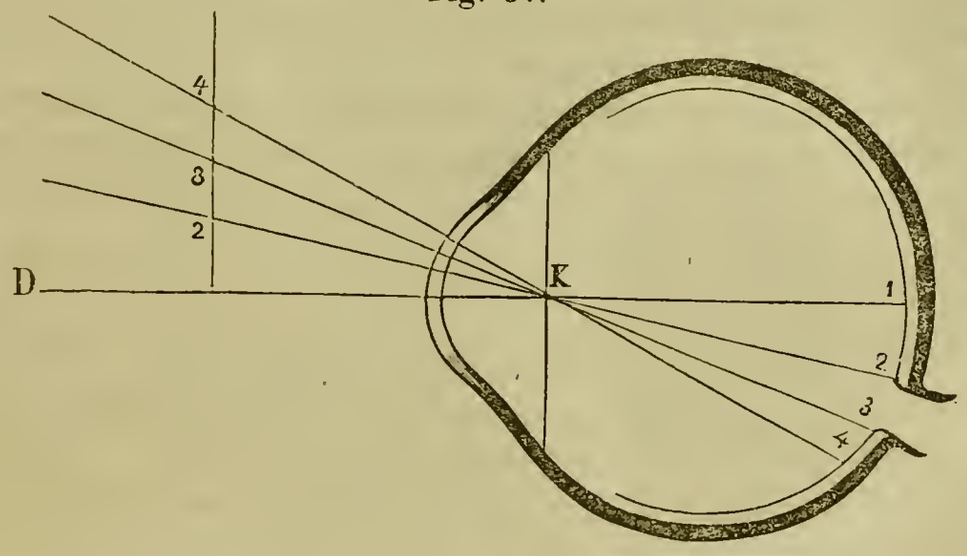
***) Helmholtz, der Augenspiegel p. 39. — Helmholtz, über die Theorie der zusammengesetzten Farben. Müllers Archiv 1852. — E. Brücke, über das Verhalten der optischen

äthers mit den lichtempfindenden Flächen sind von verschiedentlichen Folgen begleitet.

a. Die lichtempfindenden Flächen sind nicht überall durch die Schwingungen des Aethers in Erregung zu versetzen; nach genauen Beobachtungen von Hemlholtz empfindet man nur die Aetherstrahlen als Licht, welche den Sehnerv auf seiner Ausbreitung in der Retina treffen, nicht aber diejenigen, welche auf seinem Stamm und namentlich auf dessen Eintrittsstelle in die Retina dringen.

Wenn man mittelst des Augenspiegels die Retina an den Orten erleuchtet, an welchen der Sehnerv in dieselbe eindringt, so erkennt man in der Substanz des Stammes bis in eine gewisse Tiefe den Verlauf der a. central. retinae, mit andern Worten der Sehnerv wird vollkommen durchleuchtet. Erzeugte nun die Wirkung des Lichtäthers an dieser Stelle des Sehnervenverlaufs eine Lichtempfindung, so müsste offenbar jetzt das ganze Auge mit Licht erfüllt scheinen, da ja alle Röhren des Opticus getroffen wurden; hiervon tritt nun aber gerade das Gegentheil ein, indem das auf den besprochenen Ort geworfene Bildchen dem beleuchteten Auge als ein engbegrenztes und viel lichtschwächeres erscheint, als wenn es auf andere Stellen fällt. — Diese Beobachtungen von Helmholtz erheben es zur Gewissheit, dass der schon längst bekannte blinde Fleck von Mariotte nichts anderes sei, als die Eintrittsstelle des Sehnerven. Ist nun in der

Fig. 57.



That am Auge Fig 57, dessen Knotenpunkte bei *K* liegen, die Eintrittsstelle des Sehnerven für Aetherwellen unempfindlich, so müssen die Gegenstände, welche innerhalb der Grenzen 2 2^1 und 3 3^1 ihre Richtungsstrahlen in das Auge senden gar nicht gesehen werden. Dieses trifft nun auch zu. Um diesen blinden Ort der Retina zu finden zeichne man sich mehrere je 2 bis 3 Centimeter von einander abstehende in einer geraden Linie liegende Punkte 1. 2. 3. 4. und führe einen derselben 1 gerade vor das Auge in die Verlängerung der Sehachse 1 1, während man das andere Auge geschlossen hält. Richtet man nun, während man die Augenstellung fixirt erhält, seine Aufmerksamkeit auf die nach der äussern Seite vor das Auge gelegenen Punkte, so wird man gewahren, dass die zwischen 2 und 3 befindlichen, aus dem Gesichtsfeld ausfallen, während die nach innen und aussen von diesen gelegenen 1 und 4 sichtbar bleiben. Eine weitere

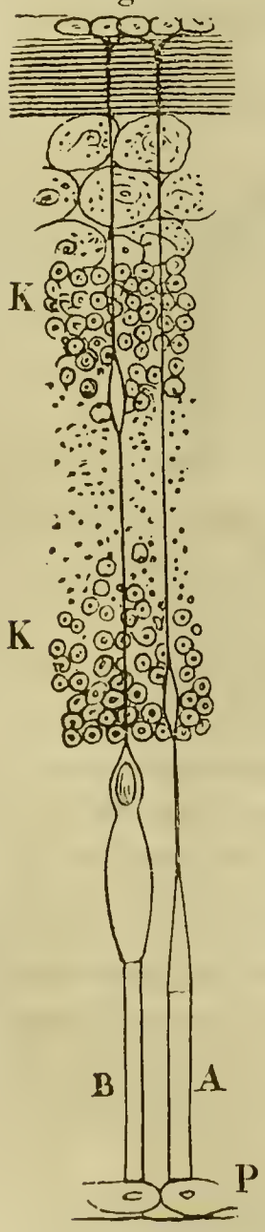
---

Medien des Auges gegen Licht u. Wärmestrahlen Müllers Archiv 1845. 262. — Fechner, über subjective Nach- und Nebenbilder. Poggend. Annalen 50. Bd. ibid. 44. Bd. — E. Brücke, Untersuchungen über subjective Farben. Wien 1851 u. Poggend. Annalen. 81. Bd. 418. — Seebeck. Poggend. Annalen 42. Bd. — Dove, über den Einfluss der Helligkeit etc. Poggend. Annal. LXXXV. Bd. — Helmholtz. Ueber Hrn. D. Brewsters neue Analyse des Sonnenlichts. Poggend. Annal. LXXXVI. Bd.

Betrachtung unserer Figur zeigt, dass mit der wachsenden Entfernung des Punktes 1 auf der Sehachse *K D* vom Knotenpunkte *K* auch der Abstand der Punkte 3, 2 von 4 zunehmen muss, wenn sie verschwinden sollen. Daraus folgt die Regel, dass wenn man sich mehrere Punkte in einer bestimmten Entfernung von einander auf ein Papier gezeichnet hat, einige derselben immer nur in einer ganz bestimmten Entfernung des Papiers vom Auge verschwinden werden. Diesen Abstand von der Cornea muss man, während man die Richtung der Sehachse constant erhält, durch allmäliges Annähern und Entfernen des Gegenstandes vom Auge aufsuchen. — Ist die Entfernung des Punktes 1 vom Auge und die der Punkte 1, 2, 3, 4, von einander bekannt, so lässt sich mit Zugrundelegung des mittleren Auges die Lage und Ausdehnung der unempfindlichen Stelle an der Retina berechnen, wie ein Blick auf unsre Figur lehrt. Die nach dieser Methode ausgeführten Messungen haben ergeben, dass die Ausdehnung der unempfindlichen Stelle nicht ganz dem Durchmesser des Sehnerven entspricht, Valentin;*) sind diese Messungen hinreichend genau, so folgt daraus, dass die Unempfindlichkeit sich nicht über den ganzen Querschnitt erstreckt.

Die Beobachtung, dass die Röhren des Optikus nicht aller Orten von dem bewegten Aether erregt werden, ist auf zweierlei Art zu deuten. Entweder die lichtempfindlichen, in der Retinaausbreitung vorhandenen, Enden der Nerven sind physikalisch und chemisch anders geartet, als die Röhren des Stammes; oder die Nerven sind im Stamm und der Ausbreitung gleichartig, so dass sie nirgends geradezu von den Aetherwellen erregt werden, aber sie sind in ihrem Verlauf durch die Retina in Stoffe eingebettet, welche durch den Lichtäther in einer solchen Art umgewandelt werden, dass sie selbst nun Erregungsmittel der Nervenröhren werden. Kölliker**), der sich der letzteren Annahme anschliesst, ist nach neuen anatomischen Untersuchungen geneigt die sogenannten Stäbchen als diejenigen Formelemente der Retina zu bezeichnen, welche primär von den Aetherschwingungen verändert werden.

Fig. 58.



Nach den neuern Untersuchungen über die Struktur der Retina von Kölliker, Fig. 58. enden die entweder wie *A* oder wie *B* geformten Stäbchen gegen das Pigment *P* mit abgestetzten Enden; ihre dem Nerven zugewendete Seite spitzt sich zu und läuft schliesslich in einen feinen Faden aus, der bis zur membrana limitans dringt und somit die Körnerschicht *K K* und die Ganglienzellen und die Nervenröhren durchsetzt; auf welche Art der Faden endet, ist Kölliker unklar geblieben. Rücksichtlich der Vertheilung der Nervenröhren und der Stäbchen behauptet er, dass das Foramen centrale, der lichtempfindlichste Theil der Netzhaut Stäbchen aber keine Nervenröhren besitze, während die Eintrittsstelle der Sehnerven, der blinde Netzhautort, die Stäbchen entbehre. Unter Voraussetzung der Richtigkeit jener Beobachtungen würde gegen die im Text erwähnte Annahme von Kölliker nichts einzuwenden sein; die aufsteigenden Fäden

*) Lehrbuch der Physiologie II. Bd. 2. Abthl. 165.
**) Handbuch der Gewebelehre. Leipzig 1852. p. 606.

der Stäbchen würden dann als die Uebermittler der Erregung von diesen auf die Nerven anzusehen sein. — Ueber die Vertheilung der Stäbchen in den einzelnen Parthien der Netzhaut siehe Brücke *) und Henle. **)

b. Die Wellen des Aethers sind nur dann im Stande Lichtempfindungen zu erregen, wenn sich ihre Längen innerhalb gewisser Grenzen halten; namentlich sind alle Strahlen des Spektrums, deren Wellen länger als die rothen und kürzer als die violetten sind, unsichtbar. Der Grund dieser Unsichtbarkeit liegt nach Brücke darin, dass die Wellen der bezeichneten Länge von den brechenden Medien des Auges absorbirt werden, so dass sie gar nicht zur Retina gelangen.

Der Nachweiss, dass das Spektrum noch von zwei unsichtbaren Wellensäumen eingefasst ist, wird bekanntlich dadurch geführt, dass dasselbe jenseits seiner leuchtenden Theile noch chemische und thermische Wirkungen veranlasst; diese Wirkungen auf die Thermosäule, auf jodirte Silberplatten, Guajactinctur u. s. w. werden nach Brücke aufgehoben, wenn man zwischen diese Apparate und das Spektrum die dursichtigen Augenmedien in der Art einschaltet, dass jene Strahlen durch letztere dringen müssen.

c. Die optisch einfachen, durch das Prisma nicht weiter zerlegbaren Strahlen des sichtbaren Spektrums erzeugen insgesammt die Empfindung des Weissen, wenn die lebendige Kraft ihrer Schwingung, die Lichtintensität, eine sehr beträchtliche ist. Helmholtz, Moser. In allen andern Fällen erscheinen sie farbig; die bestimmte Farbe, welche die einfache Aetherwelle erregt, ist abhängig von ihrer Wellenlänge in der Art, dass die Wellen kürzester Länge violett, die der grössten Länge roth, die zwischen liegenden aber blau, grün, gelb, orange erscheinen. In den bezeichneten Grenzen der Lichtintensität kommt den Farben des Spektrums die Fähigkeit zu, nur einen Farbeneindruck zu erzeugen; Newton. Der berühmte Optiker Brewster hatte auf neue Versuche gestützt, die Behauptung ausgesprochen, dass jede der prismatischen Farben, die man bisher für einfach gehalten, durch absorbirende Mittel noch weiter zerlegbar sei, so dass eine jede derselben selbst noch verschiedene Farbenempfindungen erzeugen könne. Helmholtz, der die Lehre Newtons in Schutz nimmt, hat die Gründe, aus denen Brewster irrt, nachgewiesen.

d. Gemischte Strahlen erscheinen entweder weiss oder farbig. Die Empfindung des Weissen wird erzeugt durch Mischung der farbigen Strahlen in einem solchen Verhältniss, in dem sie im unzerlegten Sonnenlicht enthalten sind; ferner durch Mischung von blauen und gelben Strahlen, und endlich durch diejenige aller solchen, aus denen blau und gelb zusammengesetzt werden kann. Ueber die Farben, welche durch Mischung einfacher Strahlen erzeugt werden können, gibt die folgende, von Helmholtz entworfene Tabelle Aufschluss:

*) Brücke, Beschreibung des menschlichen Augapfels. Berlin 1847.
**) Henle in Henle u. Pfeufer Zeitschrift. Neue Folge II. Bd. 304.

Roth und Violett	gibt	Purpur	Gelb und Violett	gibt	Rosa
Roth und Blau	„	Rosa	Gelb und Blau	„	Weiss
Roth und Grün	„	Mattgelb	Gelb und Grün	„	Gelbgrün
Roth und Gelb	„	Orange	Grün und Violett	„	Blassblau
Grün und Blau	„	Blaugrün	Blau und Violett	„	Indigblau

Diese von den gewöhnlichen sehr vielfach abweichenden Angaben, wird man bestätigt finden, wenn man nicht, wie meist bisher geschehen, Pigmente, sondern Aetherwellen mischt. Die einfachste Methode zur Erreichung dieser letzten Absicht besteht nach Helmholtz darin, dass man ein dünnes Stück Glas senkrecht auf eine dunkle Platte stellt, und vor die Fläche des Glases, von welcher aus der Beobachter an sie sieht, ein gefärbtes Stück Papier oder dergl. legt, und darauf hinter das Glas auf den Ort, an welchem das Spiegelbild der ersten Farbe erscheint, ein andersfarbiges Papier bringt, so dass beide Farben auf demselben Wege in das Auge des Beobachters dringen. Die durch dieses ingeniöse Mittel erworbenen Erfahrungen werden auch durch den bekannten Farbenkreisel bestätigt, d. h. durch eine rasch rotirende Scheibe, auf welche man die verschiedenen Farben als Sectoren aufgetragen hat. — Der Grund warum bei dem Mischen von Farbstoffen ganz andere Erscheinungen vorkommen, liegt darin, dass in diesem Fall keine Mischung, sondern eine Aussonderung von Aetherwellen stattfindet, indem aus dem Gemenge der Pigmente nur das Licht zu uns dringt, was von jedem derselben durchgelassen wird. Löscht also z. B. ein blaues Pigment alle Farben aus, ausser grün und blau, und gelb alle Farben ausser grün und gelb, so wird durch ein Gemenge dieser Stoffe nur grün hindurchdringen können. Darum gibt auch ein Gemeng von grün und roth u. s. w. schwarz oder wie man sich ausdrückte grau, weil der grüne Farbstoff keine rothen und der rothe keine grünen Strahlen durchlässt u. s. w.

Indem man, nach der früheren von Helmholtz widerlegten Annahme, das weisse Licht immer als die Lichtgesammtheit, als das wiedervereinigte Spektrum betrachtete, nannte man zwei Farben, welche bei ihrer Mischung weiss gaben, complementäre. — Dieser Ausdruck muss, wenn er beibehalten werden soll, in einem andern Sinn als früher genommen werden, da auf sehr mannigfache Art weisses Licht entstehen kann, ohne dass dieses sämmtliche Farbenstrahlen des Spektrums enthielte. Da man ferner früher glaubte, es könne durch wechselnde Zusammensetzung der drei Farben Roth, Gelb, Blau jegliche Farbe erzeugt werden, so nannte man sie die Grundfarben. Auch diese Annahme ist nach der obigen Tafel unhaltbar; die Untersuchung von Helmholtz verlangt mindestens die Feststellung der fünf Grundfarben: Roth, Gelb, Grün, Blau, Violett.

e. Wenn Lichtstrahlen von verschiedener Färbung gleichzeitig differente Orte der Retina beleuchten, so erregt öfter der eine von ihnen eine andere Empfindung als dann, wenn er für sich allein die Retina getroffen haben würde. Diese scheinbare Farbe belegt man mit dem Namen der Nebenfarbe, Contrast- oder subjektiven Ergänzungsfarbe. Einen Ueberblick über die Nebenfarben, welche das weisse Licht annimmt, wenn zugleich noch gefärbtes Licht auf die Retina trifft, gibt die folgende Tabelle.

Weisses Licht erscheint Grün, wenn gleichzeitig Roth auffällt
„ „ „ Violett „ „ Gelb „
„ „ „ Blau „ „ Orange „
und umgekehrt, es erscheinen die weiss erleuchteten Stellen Roth, Gelb, Orange, wenn andere Orte desselben Auges gleichzeitig von Grün, Violett, Blau getroffen werden.

Diese Färbung weissen Lichtes beobachtet man in vollkommener Schärfe, wenn man in ein grösseres Stück eines durchsichtigen gefärbten Papieres (feines Brief- oder Fliesspapier in Carmin-, Indigo- u. s. w. Lösung getaucht) eine Lücke schneidet und auf dieselbe eine Scheibe weniger durchsichtigen weissen Papiers (Schreibpapier) klebt, und diese Combination gegen das helle Fenster betrachtet, so dass gleichzeitig durch beide Papiere das Licht in das Auge fällt. Im übrigen sind die Bedingungen der scheinbaren Umsetzung weissen Lichtes noch durchaus nicht im Klaren; als feststehend darf angesehen werden: 1.) Die primäre oder, wie sie Brücke nennt, die induzirende Farbe muss einen grossen Theil des Sehfeldes einnehmen. — 2.) Die ursprünglich gefärbten Strahlen müssen selbst noch mit weissem Licht gefärbt sein, denn es ereignet sich die scheinbare Färbung des weissen Lichtes an dem vorher beschriebenen Papier nicht, wenn man dasselbe auf einen dunklen undurchsichtigen Körper auflegt. 3.) Das rein weisse Licht muss etwas gedämpft sein, wenn es eine Färbung annehmen soll. 4.) Die Lebhaftigkeit der Farbe des weissen Lichtes (induzirte Farbe) steigert sich nur bis zu einem gewissen Grade mit der Tiefe der induzirenden. 5.) Die Lebhaftigkeit der induzirten Farbe steigert sich mit der Zeitdauer der Anschauung der induzirenden. 6.) Nach Brewster und Fechner erscheint das weisse Licht nicht immer in der oben bezeichneten Färbung sondern auch zuweilen in der gleichartigen, so dass ein weisser Fleck auf roth ebenfalls roth wird. —

Fallen gleichzeitig zwei Farben auf die Retina, so heben sie sich meist nur schärfer gegen einander ab, ohne sich aber in ihrem Ton zu ändern. — Die einzige bekannte Ausnahme besteht darin, dass wenn man dieselben Farben von stärkerer und geringerer Intensität nebeneinander sieht, die schwächere (mit mehr weiss gemengte) die Farbe annimmt, welche unter diesen Umständen das weisse Licht erhalten würde, so dass z. B. ein helles roth neben einem tiefen roth grün erscheint. Brücke, Fechner.

Aus diesen Thatsachen folgert sich, dass die Bestandtheile des Sehnerven einen gegenseitigen, empfindungsbestimmenden Einfluss auf einander üben. Diese Wechselwirkung zwischen den empfindenden Theilen ereignet sich wahrscheinlich im Hirn.

Ausser dieser Folgerung, respektive im Gegensatz zu ihr, liessen sich zwei andre ziehen, die nämlich, dass die Contrastfarbe eine reelle, im Auge vorhandene sei; und die andere, dass das Auftreten der Contrastfarbe in einer Täuschung des Urtheils begründet sei. — Die erste von beiden Annahmen entbehrt jeglicher Begründung, indem z. B. gar nicht abzusehen ist, wie das weisse Licht, welches einen Retinafleck beleuchtet, sich in grünes verwandeln sollte, selbst wenn das Auge an denselben Stellen mit roth erhellt würde. — Die andere Hypothese erscheint dagegen, namentlich wenn man die Richtigkeit der früheren Annahme über die Zusammensetzung des weissen Lichtes voraussetzt, annehmbarer. So lange man z. B. glaubte, dass durch die Zusammensetzung von grün und roth weiss entstehe, konnte man es auch wahrscheinlich finden, dass wenn gleichzeitig auf verschiedene Nervenröhren weisses und rothes Licht wirke, die Seele im Gegensatz zu den rein rothen Strahlen

das Weisse, welches neben roth noch grün besitzen sollte, als grün empfinden würde. Dieser Annahme ist aber durch die überraschenden Entdeckungen vom Helmholtz der Boden entzogen worden, da ja auch weiss aus blau und gelb entsteht u. s. w. — Zudem erläutert die Vorstellung, dass eine Urtheilstäuschung dem Erscheinen der Contrastfarben zu Grunde liege, auch andere Thatsachen nicht. Warum muss die induzirende Farbe licht und das Weisse gedämpft sein? Warum erzeugt die intensivere Farbe im Weiss eher die gleichartige als die contrastirende Färbung?

Die Behauptung, dass die gegenseitige Beziehung der Erregungszustände im Hirn stattfinde, werden wir später begründen. —

f. Wenn weisses Licht eine Retinafläche erleuchtet, nachdem diese unmittelbar vorher von einem intensiven farbigen Strahl getroffen war, so erregt das Weiss des Sonnenlichtes eine Farbenempfindung; und namentlich erscheint meist die Nebenfarbe des frühern vorhanden, so dass z. B. der weisse Strahl nach dem Betrachten von Roth die Empfindung von Grün u. s. w. erzeugt. Aus dieser Thatsache folgert man, dass innerhalb der Nervenröhren die Empfindlichkeit für die eine Farbe abgestumpft werden kann, während die für eine andere in vollkommener Kraft bestehen bleibe. Diese Folgerung wird um so wahrscheinlicher als in der That nach anhaltendem Betrachten einer Farbe, diese an ihrer Stärke verliert, während die unmittelbar nachher im Sehfeld erscheinende physiologische Nebenfarbe sehr lebhaft empfunden wird.

g. Verschiedene Individuen sind mit einem sehr abweichenden Vermögen der Farbenunterscheidung begabt. Namentlich geht aus den Untersuchungen von Seebek hervor, dass sich die Menschen, welche die Farben mangelhaft unterscheiden, in zwei Classen bringen lassen, von denen die eine alle Farben mangelhaft empfindet, während die zweite gelb noch gut erkennt, während sie roth als grau und blau als blaugrau sieht.

h. Ueber das Verhältniss zwischen der Stärke der Lichtempfindung und der lebendigen Kraft, mit welchen die Aethermolekeln schwingen, können wir nur einige wenige scharfe Aussagen machen, weil uns ebensowohl ein Maass für die Empfindung als auch für die lebendige Kraft der Aetherschwingungen fehlt und wir endlich auch nicht wissen wie viel Licht auf dem Wege durch die brechenden Medien des Auges verloren geht.

Die Stärke der Empfindung, welche durch den Lichtäther angeregt wird, ist abhängig von den Besonderheiten der Aetherwellen, der Empfindlichkeit der Retina, dem Orte an welchem sie getroffen wird, und der Summe der Nervenröhren, welche gleichzeitig erregt werden.

α) Innerhalb gewisser Grenzen wächst mit der Intensität des Lichtes d. h. mit der Excursion, welche ein schwingendes Aethermolekel macht, die Stärke der Lichtempfindung. — Wahrscheinlich müssen die Aethermolekeln erst einen gewissen Grad von Schwingungsstärke erreicht haben, bevor sie im Stande sind die Empfindung zu wecken, haben sie diese erreicht, d. h. wird ein Lichtquell sicht-

bar, so erhöht sich nun allmälig mit der Intensität der leuchtenden Theilchen die Empfindung; bei fortgesetzter Steigerung des Lichtes tritt aber endlich Blendung ein, das Analogon des Schmerzes, bei deren Anwesenheit durch eine noch kräftigere Wirkung des Lichtes, keine heftigere Empfindung mehr erzielt werden kann. — Auf die Stärke der Empfindung übt ausser der Excursion des schwingenden Theilchens auch die Wellenlänge einen Einfluss. Die Wellen kürzerer Längen, d. h. die nach dem violetten Ende des Spektrums hin liegenden verschwinden, nämlich bei fortgesetzter Schwächung des Lichtes, später als die nach dem rothen Ende hin gelegenen. Dove erläutert dieses daraus, dass sich die rascher aufeinander folgenden Stösse des blauen Lichtes in den Nerven summiren, während dieses bei den langsamer aufeinander folgenden des rothen Lichtes nicht geschieht.

Alle übrigen Angaben und namentlich die, dass bei gleicher Lichtintensität die Farben rücksichtlich der Stärke ihre empfindungserzeugenden Eigenschaften in der abnehmenden Reihe gelb, grün, hellblau, orange, roth, violett geordnet werden könnten, ruhen auf keinen sicheren Erfahrungen. — Die Methode, welche Plateau *) anwendete um empfindungserzeugende Kräfte der Farben zu messen, ist im Prinzip fehlerhaft. Sie gibt in der That nur Aufschluss darüber, in welchem Verhältniss die Stärke der Nachwirkung steht, welche zwei Farbeneindrücke hinterlassen.

β) Die Empfindlichkeit der Retina gegen weisses Licht sowohl als gegen gefärbtes, nimmt mit der Dauer ihrer Einwirkung auf dieselbe ab und zwar um so rascher, je beträchtlicher die Intensität des Lichtes war. Rücksichtlich des gefärbten Lichtes ist hierbei bemerkenswerth, dass durch anhaltende Einwirkung einer Farbe die Empfindlichkeit des Sehnerven nur für diese, aber nicht zugleich für andere Farben abgestumpft wird.

γ) Nach Brewster**) sollen die Seitentheile der Retina (bei gleicher Pupillenweite ?) ein constantes Licht lebhafter empfinden als die mittleren.

δ) Je grösser die Retinaflächen sind, welche gleichzeitig vom Licht getroffen werden, um so intensiver wirkt dasselbe, wie daraus hervorgeht, dass ein grelles Licht mit einem, aber nicht mit zwei Augen zugleich, ohne Blendung zu erzeugen, angesehen werden kann.

B. Mechanische Einwirkungen. Durch Druck oder Zerrung wird unter uns noch unbekannten Umständen bald die Empfindung des weissen, bald die des gefärbten Lichtes erzielt. — Auf diesem Wege kommen die feurigen Kreise zu Stande, welche man bei einem gelinden Fingerdruck auf das Auge, und zwar auf der dem Druck diametral entgegengesetzt liegenden Augenseite, entstehen sieht; ferner das Funkensehen bei heftigem Schlagen auf das Auge; ferner die leuchtenden Ringe bei raschen Drehungen des Auges, welche von Zerrungen des

*) Radicke, Handbuch der Optik II. Bd. 259.
**) Poggendorf Annalen 27. Bd. 497.

Sehnerven rühren; ferner die bei sehr empfindlichen Zuständen auftretenden, vor dem Auge hin und her fahrenden Funken, welche durch die in den Capillarnetzen der a. centralis retinae verlaufenden Blutkörperchen veranlasst werden, und endlich wohl auch das sogenannte Schattenfeld, welches in einem feinem Lichtstaub besteht, der beim Schliessen der Augenlieder in selbst dunklen Räumen über die ganze Ausbreitung der Retina beobachtet wird.

C. Elektrische Einwirkungen*). Abgesehen von den Feuererscheinungen, durch welche die Electrizität erregend auf die Retina wirkt, ist sie auch auf andere Art, nach Analogie ihrer Einwirkung auf die übrigen Nerven zur Auslösung der Lichtempfindung geschickt. — Es scheint sowohl der an Intensität constante, als schwankende Strom Lichtempfindung zu erregen, so jedoch, dass bei der Schwankung des Stroms das Licht lebhafter wird. Nach Pfaff, Ritter und Purkinje erkennt der Sehnerv auch die Strömungsrichtung der Elektrizität, und zwar soll der im Nerven aufsteigende (von der Peripherie zum Gehirn gerichtete) Strom lebhafter wirken, als der absteigende. Das Licht selbst, welches zur Empfindung kommt, ist ein farbiges; nach Purkinje erscheinen violette und gelbliche Farbentöne, die sich jedoch nicht gleichmässig über die Sehfläche ausbreiten, sondern von dunklen Stellen unterbrochen sind. Mit der Umkehr der Strömung verändert sich auch die Oertlichkeit der Licht- und Schattenflächen in der Art, dass die früher dunklen Stellen hell und die hellen dunkel werden.

2. Beharrungsvermögen; Nachbilder**).

Ein Lichtstrahl, der zu der Retina gedrungen ist, setzt sie in verschwindend kleiner Zeit in Erregung, wie daraus hervorgeht, dass wir das momentane Licht eines electrischen Funkens nicht allein sehen, sondern auch die mit ihm beleuchteten Gegenstände erkennen. Volkmann. Diese Erregungszustände der Retina werden aber nicht ebenso momentan von der Seele empfunden; denn ein dunkler kreisförmiger Gegenstand, der sich vor einer weissen Grundlage mit einer bedeutenden Geschwindigkeit bewegt, bildet in der Empfindung einen dunklen Streifen, eine Thatsache, aus der hervorgeht, dass die unmittelbar hinter dem dunklen Körper ins Auge fallenden weissen Strahlen nicht augenblicklich zur bewussten Empfindung kommen; d'Arcy.

Die einmal zum Bewusstsein gekommene Lichtempfindung verschwindet aber nicht momentan mit der Entfernung des objektiven Lichtes; es bleibt eine Nachwirkung, ein Nachbild, zurück, welche

---

*) Du Bois-Reymond, Thier. Electricität I. 284 u. 345.

**) Volkmann, Artikel Sehen. Wagners Handwörterbuch. — Radicke, Handbuch d. Optik II. Bd. 255 u. f. Ausserdem die erwähnten Abhandlungen von Brücke in Fechner. — Tourtual Jahresbericht über Fortschritt der Physiol. des Gesichtssinnes in Müllers Archiv. — Plateau Poggend. Annalen Bd. 32 u. Annal. de chimie et physique LVIII. Bd.

namentlich die Form des gesehenen Gegenstandes mit grosser Treue festhält.

Unser Sehfeld ist in der That fast ununterbrochen mit Nachbildern ausgefüllt, welche von uns nur übersehen werden, so lange wir nicht durch genaue Selbstbeobachtung die Fähigkeit erlangt haben, diese meist zarten Bilder neben den gewöhnlich stärkern objektiven Lichteindrücken aufzufassen. Zum ersten Studium des Nachbildes ist dasjenige einer nicht zu hellen Kerzenflamme empfehlenswerth. Sieht man Abends in eine solche nicht zu helle Kerzenflamme 30 bis 60 Sekunden stier und unverrücklich, schliesst dann die Augen und deckt sie noch mit den Händen, so wird man das genaueste Abbild der Flamme vor sich schweben sehen. Da man das Kerzenlicht innerhalb gewisser Grenzen durch Entfernen desselben vom Auge schwächen und steigern kann, so eignet es sich vortrefflich, um sich die grössere Zahl der im folgenden erläuterten Erscheinungen vorzuführen. — Alle Versuche über Nachbilder und noch mehr über Abklingen der Farben müssen mit der äussersten Sorgfalt angestellt werden, weil sie Augenschwäche, ja gänzlichen Verlust der Sehkraft herbeiführen können. Fechner, Plateau und Brücke, welchen wir vorzugsweise unsere Kenntnisse über die Nachbilder verdanken, haben ernste Folgen ihres Strebens empfinden müssen.

Die Erscheinungen dieses Nachbildes sind nun verwickelter Art.

a. Obwohl jeder Lichteindruck ein Nachbild hinterlässt, wie das Beispiel des electrischen Funkens darthut, so sind doch gewisse Bedingungen nöthig, wenn ein Strahl auch nach seiner Entfernung aus dem Auge, während einer merklichen Zeit deutlich empfunden werden soll. In dieser Beziehung lehrt die tägliche Erfahrung, dass wenn auch ein Licht von jeder beliebigen Stärke ein Nachbild hervorruft, doch ein intensives nur viel kürzere Zeit auf das Auge gewirkt zu haben braucht, als ein weniger intensives, um die Nachwirkung deutlich zu erzeugen, und dass verschieden gefärbte Körper bei gleicher Beleuchtungsstärke zu demselben Zwecke ungleicher Zeiten bedürfen. Stellt man die Farben nach ihrer Fähigkeit ein Nachbild zu erzeugen in eine Reihe, so folgen sie nach der Ordnung: weiss, gelb, roth, blau; Plateau.

b. Die Zeit, während welcher ein deutliches Nachbild im Sehfeld verharrt, ist abhängig α) von der Intensität des primären Lichteindrucks, in der Art, dass das Nachbild eines intensiven Lichteindrucks länger verharrt als das eines schwachen. β) Je länger objektives Licht die Retina traf, um so dauernder erweist sich die Nachwirkung. γ) Alles andere gleichgesetzt, verbleiben die Nachbilder verschiedener Farben, bis zu ihrem vollständigen Verschwinden, eine ungefähr gleiche Zeit, dagegen verliert das Nachbild des Weissen rascher an seiner Lebhaftigkeit als das des Gelben, Rothen, Blauen; Plateau.

Um die Zeiten der Nachbilder zu messen, wendete Plateau eine runde Scheibe von bekanntem Durchmesser an, die mit verschiedener aber messbarer Geschwindigkeit gedreht werden konnte. Diese Scheibe überzog er mit einem lichtlosen Grund (schwarzen Sammet) und befestigte auf diesem einen Kreissektor aus gefärbtem Papier. Dreht man nun diese Scheibe, so wird bei einer gewissen Geschwindigkeit derselben, dem Auge auch die schwarze Abtheilung mit der Farbe des Sektors überzogen erscheinen; da man die Weglänge des schwarzen und gefärbten Theils

und die Umdrehungsgeschwindigkeit kennt, so lässt sich leicht berechnen, welche Zeit verflossen ist während des Vorbeigangs des schwarzen Theils. Die ganze Zeitdauer des Nachbildes wird nun gegeben sein durch die Umdrehungsgeschwindigkeit, bei welcher der lichtlose Theil der Scheibe gerade noch überall gefärbt ist. Die Zeitdauer des ungeschwächten Lichtbildes aber ist durch die Drehungsgeschwindigkeit gegeben, bei welcher an allen Orten der Scheibe die Farbe eine gleichmässige ist, so dass das Auge nicht entscheiden kann, ob die schwarze oder gefärbte Abtheilung an ihm vorübergeht.

c. Das Nachbild eines Gegenstandes, der aus mehr und weniger hell beleuchteten Stücken besteht, prägt sich, wenn es bei verschlossenen mit der Hand gedeckten Augen betrachtet wird, entweder so aus, dass Object und Nachbild, rücksichtlich der Vertheilung des Hellen und Dunklen, sich genau entsprechen — positives Nachbild — oder so, dass die dunklen Parthien des Objektes im Nachbild hell und die hellen des erstern im letztern dunkel sind — negatives Nachbild. — Lässt man während des Bestehens eines positiven Nachbildes weisses Licht in das Auge, so blasst ersteres ab und verwandelt sich sogar in ein negatives Nachbild, dringt dagegen bei Gegenwart eines negativen Nachbildes weisses Licht in die Retina, so wird dasselbe deutlicher. Diese Erscheinung beweisst, dass das positive Nachbild auf einer fortdauernden Erregung, das negative auf einer Abstumpfung der Sehkraft in den betreffenden Stellen beruht; Brücke.

Erscheint z. B. nach dem Betrachten eines hellen Gegenstandes auf dunklem Grunde in dem geschlossenen vor Licht vollkommen geschützten Auge ein positives Nachbild, so wird dieses beim Zutritt weissen Lichtes (beim Oeffnen des Auges) undeutlicher weil durch das Licht der noch erregbarere den dunklen Grund nachempfindende Retinatheil stärker erregt wird, als der durch den vorhergehenden Eindruck schon angegriffene hell nachempfindende; es verschwinden also durch objektives Licht nicht allein die Unterschiede der Erregung, sondern es erhält die vorher dunkle Masse ein Uebergewicht von Helligkeit über die vorher weisse, mit andern Worten: das positive Nachbild wird negativ. — Prägt sich das Nachbild eines weissen Gegenstandes auf schwarzem Grund dagegen im bedeckten Auge negativ aus, so müssen beim Zutritt weissen Lichtes die hellen Parthien noch heller werden, weil sie durch die früher weniger kräftige Erregung im geringeren Grade abgestumpft, das weisse Licht deutlicher empfinden, als die durch den frühern kräftigern Eindruck ganz abgestumpften dunklen Stellen; mit andern Worten, das im dunklen Auge negative Nachbild wird beim Lichtzutritt noch deutlicher negativ.

d. Die Nachbilder erscheinen bald in der Farbe des ursprünglichen Bildes, bald mit der Contrastfarbe desselben, d. h. ein grüner Gegenstand wird roth, ein blauer orange, ein violetter gelb; man unterscheidet darum gleichfarbige identische, und contrastfarbige complementäre Nachbilder. Es können dieselben aber ausser der Gleich- und Contrastfarbe auch noch mancherlei andere annehmen; namentlich kommt es vor, dass die in der Nachempfindung begriffenen Retinastellen durch einen gesetzmässigen Wechsel verschiedener Farbenempfindung zur Ruhe gelangen. Abklingen der Farben.

Auf dieses verschiedenartige Auftreten der Farben im Nachbild übt einen Einfluss: die Stärke und die Mischung des erregenden Lich-

tes; die Beleuchtung des Auges während des bestehenden Nachbildes; die Zeit selbst, während welcher das Nachbild bestand, indem dasselbe Bild in der Zeit seine Farbe wechselt (Phasen des Nachbildes); Bewegungen des Auges bei gegenwärtigem Nachbilde und endlich die besondern Eigenschaften der Sehnerven verschiedener Menschen. — α) Einfarbiges Licht erzeugt immer nur gleich- und contrastfarbige Nachbilder, Brücke; war das Licht schwach, so erscheint das Nachbild zuerst identisch und dann complementär, worauf es verschwindet, war aber das erregende Licht intensiv, so entsteht in dem geschlossenen Auge zuerst ein positiv complementäres, dann nach einer kleinen Pause — einer Augenbetäubung nach Fechner — ein positiv identisches, darauf ein negativ complementäres, dann abermals ein positiv identisches u. s. w. bis schliesslich das Nachbild als ein negativ complementäres verschwindet; Brücke. Beobachtet man das Auge dagegen bei geöffnetem Auge gegen einen weissen Grund, so wird das positiv gleichfarbige in ein negativ contrastfarbiges verwandelt; Brücke.

Die complementär gefärbten Nachbilder erzeugt man sich am besten, wenn man Abends vor dem gelblich schimmernden Milchglas der Lampe eine Federmesserklinge rasch hin- und herführt. Die Klinge erscheint jedesmal, so oft sie einen neuen Ort beschattet, blau (Tourtual). — Ebenso wenn man auf die Mitte eines Bogens durchscheinenden gefärbten Fliesspapiers ein Stück schwarzen Tuches klebt und nun den Bogen sanft vor dem Auge hin- und herführt. Das Tuch erscheint dann complementär gefärbt.

β) Gemischtes und namentlich das ganze Sonnenlicht gibt nach schwacher Einwirkung ein schwaches negatives Bild; bei stärkerer Einwirkung zuerst ein positiv identisches und dann schliesst es durch das Farbenabklingen hindurch mit einem negativ complementären. Ueber das mannigfache Abklingen der Farben sind die staunenswerthen Versuche von Fechner*) nachzusehen.

Die Dauer, mit der die verschiedenen in der zeitlichen Reihenfolge vorkommenden Farben, die Phasen des Nachbildes, anhalten, die Reihenfolge der Farben selbst beim Abklingen ist bei verschiedenen Menschen nicht dieselbe. — Bewegungen im Auge unterdrücken oft ein Nachbild für kurze Zeit und noch mehr, die Farben desselben wechseln oft während der Bewegung.

Bisher haben wir nur der Nachbilder Erwähnung gethan, welche eintreten nach einer primären Erregung durch Aetherwellen; Drücke und elektrische Ströme erzeugen aber auch Nachbilder, welche selbst Tage lang anhalten können, Ritter, und die ebenfalls in der Farbe erscheinen, die im Contrast steht zu derjenigen, welche den primären Eindruck bedingt. Purkinje.

Zur Erklärung des Farbenabklingens und der contrastfarbigen Nachbilder wusste die ältere Theorie einiges vorzubringen. Man nahm bekanntlich an, dass

*) Poggend. Annal. 50. Bd. 445.

das weisse Licht im physiologischen Sinne aus drei Grundfarben, roth, gelb, blau bestehe, indem man glaubte, dass aus ihrer Mischung sämmtliche Farben entstehen könnten.

Diesen drei Grundfarben entsprechend sollten im Schnerven drei verschiedene Arten von Veränderungen (gleichsam die subjektiven Grundfarben) vorgehen und diese selbst sollten innerhalb des Sehnerven an Vorrichtungen geschehen, die in gewisser Art unabhängig von einander bestanden, so dass diese Fähigkeit eine dieser drei Farben zu sehen, erloschen sein konnte, ohne Alteration der übrigen. — Aus dieser Annahme liess sich nun folgern, dass wenn wir anhaltend eine der drei Grundfarben oder Combinationen zweier betrachtet hätten, die Erregbarkeit für diese Farbe oder Farben erloschen sein müsste, so dass, wenn ein weisses Licht oder ein Druck der sonst als weiss empfunden wurde, den Nerven traf, dieses nicht mehr weiss sondern in einer Farbe gesehen werden musste, und zwar natürlich in der oder denjenigen, welche in dem früher betrachteten Bilde fehlten. So folgerte man z. B. in Uebereinstimmung mit der Thatsache, dass nach anhaltender Betrachtung von rothem Licht nun das Nachbild bei weisser Beleuchtung grün erscheinen müsse, weil grün der alten Theorie gemäss eine Combination von blau und gelb war. — Diese Erklärung und alle daraus abgeleiteten Sätze, die zu einer bekannten Controverse zwischen Fechner und Plateau führte, deren Nichtigkeit aber schon Brücke und zwar auf dem Boden der alten Voraussetzungen gezeigt hatte, ist durch Helmholtz als eine irrthümliche dargethan. Denn es sind ja roth, gelb und blau nicht die physiologisch einfachen Farben; es gibt ja der gelbe und blaue Strahl kein Grün u. s. w. —

3. Wechselseitiger Einfluss verschiedener Orte der Retina aufeinander; Irradiation, Induction, Contrast *).

Die einzelnen empfindenden Bestandtheile der Retina sind durch irgend welche Vorrichtung in eine solche Beziehung zu einander gebracht, dass der Erregungszustand eines derselben auf die Erregung des andern einen Einfluss übt. Es drückt sich diese wechselseitige Anregung auf verschiedene Weise aus.

a. Ausstrahlung. Mit diesem Namen bezeichnet man die freilich nicht jedem Beobachter erscheinende Thatsache, dass ein weisser Gegenstand auf dunklem Grund grösser erscheint, als derselbe gleich grosse schwarze Gegenstand auf weissem Grund; diese Erscheinung soll sich innerhalb der Grenzen deutlicher Sehweite noch ausprägen, die Grösse der Ausstrahlung soll wachsen: mit der Helligkeit der weissen Partien, mit der Betrachtungsdauer, beim Vorsetzen zerstreuender Linsen vor das Auge, mit der Entfernung des Auges von dem betrachteten Gegenstand und endlich mit der Empfindlichkeit des Auges. Die Verbreiterung, die ein weisser Gegenstand durch Irradiation erleidet, soll dagegen abnehmen: wenn zwei weisse Objekte durch einen schmalen dunklen Gegenstand getrennt sind, so dass eine Irradiation die andere beschränkt, und ferner, wenn man eine convexe Linse vor das Auge bringt.

---

*) Plateau, Poggend. Annal. I. Ergänzungsband. p. 79; Fechner ibid. 50. Bd. 195. — Brewster, Poggend. Annal. 27. Bd. 490. — Brücke, Untersuchungen über subjective Farben. III. Bd. der k. k. akad. Denkschriften. 1851. — H. Meyer, Wiener Akad. Bd. VII. 454. Dove, Ueber Ursachen d. Glanzes und der Irradiation. Poggend. Annal. 83. Bd.

Diese bemerkenswerthen Thatsachen hat meist Plateau gesammelt, der auch eine Messungsmethode des Irradiationswerthes angibt. Plateau leitet dieselben davon ab, dass die Erregung sich in der Retina allmälig von den erhellten Stellen nach den dunklen ausbreite. Siehe die Kritik dieser unwahrscheinlichen Annahme bei Fechner und Dove; der erstere von diesen ist geneigt, sie von Eigenthümlichkeiten der brechenden Medien abzuleiten, während der letztere glaubt, dass sie ein durch das Accommodationsvermögen bedingtes Phänomen sei.

b. Induction. Wird die Retina nur theilweise durch homogenes Licht (einfache Farbstrahlen) erleuchtet und zum Theil beschattet, so färbt sich der beschattete Ort ebenfalls in der Empfindung; Brücke, der diese Erscheinung zuerst genau von ähnlichen gesondert hat, nennt sie Farbeninduction. Nach diesem Beobachter erscheint der Schatten

grün	wenn d. Beleuchtung durch roth					geschah
grün	„	„	„	„	grün	„
blauviolett	„	„	„	„	violett	„
schwachblau o. grün	„	„	„	„	blau	„
schwachblau o. gelbgrün	„	„	„	„	gelb	„

Wenn sich bei diesen Versuchen kein Licht im Auge zerstreut, so beweissen dieselben dass die sogenannte Mitempfindung eine für den Sehnerven giltige Thatsache ist.

Zum Gelingen dieser Versuche ist es nothwendig, dass alles fremde Licht abgehalten werde. Sie können darum nur in einem verfinsterten Zimmer angestellt werden, das sein einziges Licht durch eine bunte Scheibe erhält, welche nur Strahlen von einer Farbe durchlässt. Die Angaben Fechners über die induzirte Farbe weichen merklich von denen ab, welche im Text nach Brücke mitgetheilt sind; wahrscheinlich machen sich hier individuelle Verhältnisse geltend.

c. Contrast, Verstimmung. Werden zwei verschiedene Orte der Retina gleichzeitig in Erregung versetzt, so heben sich die durch sie veranlassten Empfindungen nicht allein schärfer gegen einander ab (Contrast), sondern sie sind auch im Stande sich gegenseitig zu verändern, Verstimmung. Beispiele, die den Contrast erläutern, sind einem Jeden aus der gewöhnlichen Erfahrung zu Gebote; ein Beispiel für die Verstimmung liefert die schon früher erwähnte Thatsache, dass weisses Licht gefärbt erscheint, wenn mit ihm gleichzeitig aber an verschiedenen Orten gefärbtes vorhanden ist (pag. 266). Der Contrast dürfte unzweifelhaft Folge einer im Hirn vor sich gehenden Vergleichung beider Eindrücke sein, da er sich auch noch geltend macht, wenn ein Eindruck nur je ein Auge trifft; H. Meyer. Die mit dem Worte der Verstimmung bezeichneten Thatsachen bedürfen noch genauerer Untersuchung; siehe über diese Erscheinungen besonders Fechner*) und Brücke.

Sehen.

Mit Hilfe des Sehnerven gelangen zu unserm Bewusstsein auch noch Kenntnisse von anderen Eigenschaften der Dinge als ihre Färbung und die Stärke ihrer Beleuchtung; diese Aufschlüsse, welche sich auf

*) l. c. 433.

die räumlichen Verschiedenheiten innerhalb eines Objektes, die constante oder wechselnde Ortslage eines solchen im Raume u. s. w. beziehen, empfangen wir nun nicht allein vermittelst der Empfindungseigenschaften des Sehnerven, sondern nur darum, weil entweder die Nervenröhren in der Retina (und dem Hirn?) eigenthümlich angeordnet sind, oder weil sich gleichzeitig mit der Erregung der Retina noch diejenigen anderer Nerven einfinden, so dass das Urtheil aus der Resultirenden beider Einwirkungen gefällt wird, jedoch in der Art, dass die das Urtheil bestimmenden Elemente nicht gesondert, sondern sogleich als Resultirende auf die Seele wirken, und sonach den Anschein einfacher Empfindung erzeugen. — Diese Akte bezeichnet man, der Lichtempfindung gegenüber, mit dem Ausdruck Sehen.

Der Physiologe untersucht nur, welche Elemente sich betheiligen an den zusammengesetzten Empfindungen des Sehens und überlässt dem Psychologen Fragen und Antworten zu geben über die besondere Art, in welcher diese Elemente unter sich und mit der Seele verknüpft werden.

1. Welche Erreger der Lichtempfindung zum Sehen benutzt werden können. Eine Musterung der lichterregenden Einflüsse, mit Rücksicht auf den vor der Retina liegenden Apparat, ergibt sehr bald, dass nur die Aetherschwingungen ein vollkommenes Sehen vermitteln können. Mechanische Veränderungen des Augapfels werden wohl ihrer Intensität nach, aber niemals ihrer Ausbreitung und Richtung nach, mit Schärfe empfunden, weil ein auf das Auge geübter Druck sich durch den mit Flüssigkeit gefüllten Augapfel nach allen Richtungen hin mit gleicher Stärke fortpflanzt. Es wird also durch den Druck jedesmal die ganze Retina in Erregung gebracht; dabei schliessen jedoch die Eigenschaften der Retina nicht jede Empfindung der örtlichen Drukwirkung aus, weil zugleich an dem relativ weichen Augapfel durch den drückenden Körper besondere Formveränderungen erzielt werden.

Von der Richtigkeit dieser Darstellung überzeugen uns die Folgen eines mit dem Finger geübten Druckes auf ein Stück der äussern Wand des Auges, die auf ihrer inneren Fläche noch mit Retina überzogen ist. Ein solcher Druck bringt in Folge der örtlichen Einbiegung des Augapfels einen der Fingergrösse entsprechenden leuchtenden Kreis hervor, der aus später zu erwähnenden Gründen auf der der Druckstelle entgegengesetzten Fläche des Auges gesehen wird, und ausser dem sehr bald die Purkinje'sche Druckfigur, d. h. eine vor der ganzen Retina schwebende, leuchtende Fläche, welche meist noch einzelne vor und hinter der Retina gelegene anatomische Elementarformen enthält.

An den electrischen Strömen, welche das Auge durchlaufen, kann man mit gespannter Aufmerksamkeit mehrere Eigenschaften unterscheiden, nämlich Richtung, Stärke und Geschwindigkeit in den Dichtigkeitsschwankungen des Stroms; es beziehen sich aber auch hier die zur Unterscheidung zu bringenden Merkmale nur auf die Intensität der Wirkungen in ihrer zeitlichen Folge, aber nicht auf das raumliche Nebeneinander, da wegen der überall gleich grossen Leitungs-

widerstände, welche die Substanzen des Auges bieten, die Strömungscurven sich beträchtlich ausbreiten. Dem gemäss geschieht das Sehen fast nur unter dem Einfluss der Aetherschwingungen des sogenannten objektiven Lichtes.

2. Schärfe des Sehens *). Die Schärfe des Sehens, oder die Fähigkeit jeden leuchtenden Punkt eines Gegenstandes in seiner Sonderung und Umgrenzung von jedem zunächst liegenden zu unterscheiden, ist erstens abhängig vom katoptrischen und dioptrischen Apparat, insofern er die Aufgabe zu erfüllen hat, die von einem leuchtenden Punkt auf das Auge fallenden Strahlen in einen Punkt der Retina zu vereinigen, so dass niemals mehrere im Objekt getrennt liegenden Punkte auf dieselben Stellen der Retina ihr Licht werfen. Wie schon früher erwähnt, ist diese Bedingung nicht vollkommen erfüllt und würde, wäre sie erfüllt, wegen anderer noch zu erwähnender Vorrichtungen auch nicht den entsprechenden Vortheil leisten. An diesem Orte ist aber die Bemerkung noch schicklich, dass selbst bei starken Zerstreuungskreisen ein Gegenstand mit annähernder Deutlichkeit gesehen werden kann, wegen der hervorragenden Lichtstärke des mittlern Theils desselben, welche im Contrast zu den schwächer erleuchteten Rändern vorzugsweise als das dem Gegenstand entsprechende Bild empfunden wird. Aus diesem Grunde gelingt es auch noch leicht Gegenstände, die ausserhalb der Grenzen deutlicher Sehweite liegen, scharf aufzufassen, wenn man dieselben durch feine Oeffnungen betrachtet, wodurch die störenden Zerstreuungskreise der Grenzpunkte eines leuchtenden Gegenstandes verkleinert werden.

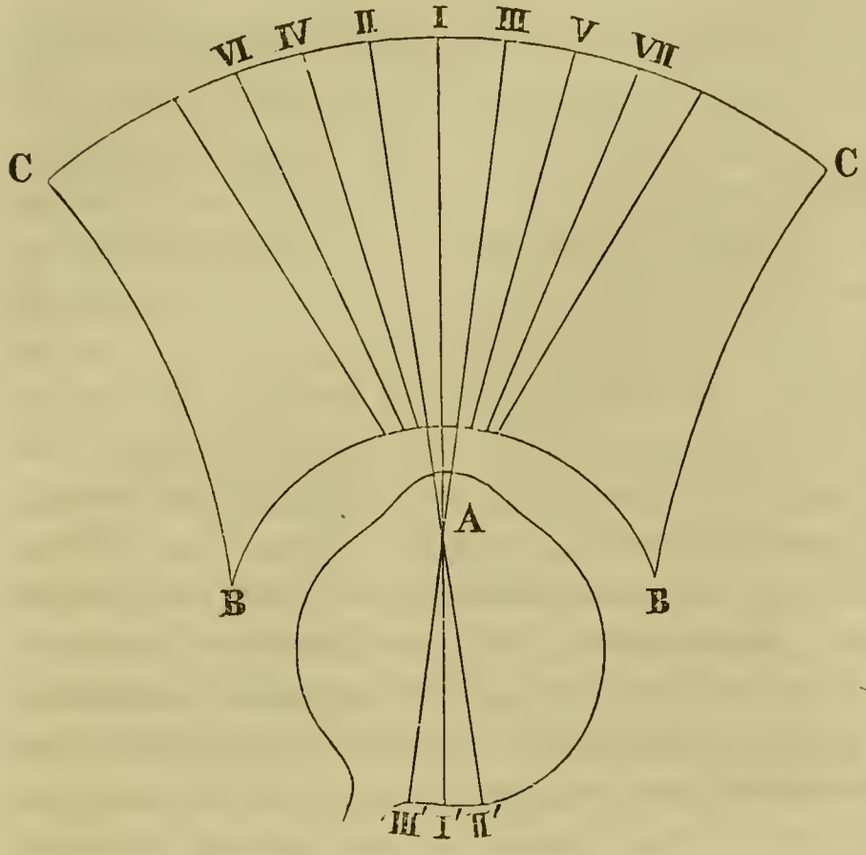
Man halte, um sich von der Wahrheit der Thatsache zu überzeugen, den Knopf einer Stecknadel so nahe vor das Auge, bis sie die Empfindung einer verwaschenen Fläche gibt und schiebe dann ein Kartenblatt, in welches man eine feine Oeffnung bohrte, so zwischen Auge und Stecknadel, dass ihre Strahlen durch die Pupille fallen; augenblicklich wird die Form des Knopfes deutlich hervortreten.

Die Schärfe des Sehens ist ferner bedingt durch die Retina, weil es von ihren Einrichtungen abhängt, ob sie die mit Hilfe des dioptrischen und katoptrischen Apparats entworfenen Lichtpunkte dem Gehirn in der Sonderung mittheilt, in welcher dieselben auf ihrer Oberfläche entworfen wurden. Die Prüfung der Retina in dieser Beziehung ergibt, dass sie an verschiedenen Orten ihrer Ausbreitung auf verschiedene Weise die Schärfe des Gesichtes unterstützt; am vollkommensten erreicht sie dieses im gelben Fleck, während ihr Vermögen zur gesonderten Empfindung mehr und mehr gegen die Seitentheile abnimmt. Um zu bezeichnen, dass nur mit dem gelben Fleck ein scharfes Sehen möglich sei, nennt man das Sehen mittelst desselben und namentlich mittelst des Punktes, der die Sehachse berührt Visio directa, das Sehen mit den Seitentheilen der Retina dagegen Visio indirecta.

*) Hueck, Müllers Archiv 1840. — Volkmann, Artikel Sehen l. c. — Radicke, Handbuch der Optik II. Bd. 259.

Um sich eine ungefähre Vorstellung zu verschaffen, wie in der Retina die Orte deutlichen und undeutlichen Sehens gelagert sind, wendet man ein Verfahren an, was Purkinje erdacht hat.

Fig. 59.



Auf einem Brett *BB CC* Fig. 59, das mit einem Ausschnitt *BB* versehen ist, beschreibt man die Kreislinie *CC*, deren Mittelpunkt jenseits der Grenzen des Brettes und zwar innerhalb des Ausschnittes *BB* gelegen ist. Darauf steckt man auf der Kreislinie *C C* mehrere Stifte *I, II, III, IV, V* u. s. w. in immer gleichen Winkelabständen von einander auf, und hält das Brett nun so vor das Auge, dass die Linie *I A*, welche einen Stift und den Mittelpunkt des Kreises *A* verbinden in die Verlängerung der Sehachse fällt, und dass zugleich der Mittelpunkt des Kreises und die Mitte zwischen den beiden Knotenpunkten zusammenfallen. Richtet man nun bei unverrückter Augenstellung der Reihe nach seine Aufmerksamkeit auf die Stifte, so wird man bald gewahr, dass nur die in der Verlängerung der Sehachse gelegenen oder um kleine Winkel von ihr abweichenden Nadeln der Form und Grösse nach deutlich aufzufassen sind, während sie um so undeutlicher erscheinen, je mehr seitlich sie stehen.

Setzt man voraus, es sei die Lage der Knotenpunkte im Auge bekannt und für sämmtliche Strahlen, welche durch die Cornea dringen, unveränderlich dieselbe, ferner, es sei die Retina nach einem Kreis gebogen, und endlich es seien die Radien des Kreises *C C* und die Winkel *II A I, III A I* u. s. w., welche die Stifte am Mittelpunkt miteinander einschliessen, gegeben, so lässt sich durch bekannte Construktion finden, an welchen Orten der Retina *I' II'' III'''* u. s. w. sich die Stifte *I II III* abbilden. Da nun aber in Wirklichkeit alle die Voraussetzungen nicht eintreffen, und es zugleich schwierig sein möchte, dem Brett die verlangte Stellung zu ertheilen, so werden die Angaben, welche durch Rechnung oder Construktion, wenn sie sich auf das Purkinje'sche Verfahren gründen, gefunden sind, nur entfernt der Wahrheit angenähert sein. — Nach den Versuchen von Huck, Volkmann, Valentin sollen die Gegenstände am deutlichsten sein, welche das blinde Loch decken, weniger deutlich sollen schon die sein, welche in einer Entfernung von 1 bis 1,5 M. M.' vom Scheitelpunkt der Retina (in dem gelben Fleck) auffallen; von hier sinkt die Deutlichkeit rasch ab, und endlich verschwinden die Bilder ganz, wenn sie in der horizontalen Ebene zwischen 30° und 40°, und in der vertikalen um 20° bis 30° von der Sehachse entfernt gelegen sind. — Die Regio visionis directae ist also sehr wenig umfangreich.

Die Undeutlichkeit der in der regio visionis indirectae entworfenen Bilder kann, wie hier gleich bemerkt werden soll, ebensowohl von der geringen Zahl (?) hier vorhandener empfindender Elemente, als auch von dem Mangel scharf auf ihnen entworfener Bilder herrühren, da das Auge seiner sphärischen Aberration gemäss nur in der Nähe der Sehachse auf der Retina die Gegenstände deutlich wiederzugeben vermag.

Da wir uns nun meist zum Sehen nur des blinden Lochs und des gelben Flecks bedienen, so ist es von besonderem Werth genauer zu ermitteln, wie gross hier der vom Licht getroffene Raum sein müsse, um noch eine scharfe Empfindung zu veranlassen, und ferner, in welchem Abstand zwei gleichzeitig auf die Retina fallende Eindrücke als distinkt empfunden werden, oder mit andern Worten, bis zu welchem Abstand zwei differente Lichteindrücke sich einander nähern müssen, um zu einem einzigen mittleren zu verschmelzen. — Die hierauf bezüglichen Untersuchungen scheinen, mit Rücksicht auf die erste Frage, ergeben zu haben, α) dass die Grösse des erregenden Bildes auf der Retina um so kleiner sein kann, je grössere Lichtstärke es besitzt; β) dass bei gleicher Lichtstärke ein weisses Bild um noch gesehen zu werden kleiner sein kann als ein gelbes, und dieses kleiner als ein rothes und endlich ein rothes kleiner als ein blaues; Plateau. γ) Dass wenn das Bild nach einer Dimension zunimmt, es unbeschadet seiner Deutlichkeit nach der andern Dimension abnehmen darf. Demnach ist ein linienförmiger Körper von beträchtlicher Länge noch sichtbar, während ein punktförmiger von gleicher Breite schon für das Sehen verschwindet. Die vorliegenden Thatsachen führen weiterhin mit hoher Wahrscheinlichkeit zu der Annahme, dass ein Bild, welches noch innerhalb der Grenzen eines einzigen Nervenprimitivrohres fällt, d. h. die Breite eines solchen nicht ausfüllt, noch sichtbar sei. — Wegen der mangelhaften Kenntnisse über den Gang und die Vereinigung der Lichtstrahlen im Auge sind scharfe Angaben über den Abstand zweier als gesondert unterscheidbaren Bilder auf der Retina nicht möglich; darum ist auch die aus der allgemeinen Nervenlehre als wahrscheinlich folgende Behauptung, dass zwei Bilder so lange nicht verschmelzen, als ihr Abstand die Breite einer Nervenprimitivröhre überschreitet, mit andern Worten, dass zwei Bilder, welche in ein Primitivrohr fallen, verschmelzen und diejenigen, welche zwei verschiedene treffen, gesondert empfunden werden, nicht zu erweisen, aber auch nicht zu widerlegen.

Volkmann*) suchte aus der Vertheilung des Sehnerven in der Retina die Frage zu entscheiden, ob es zur gesonderten Empfindung zweier gleichzeitig erscheinender Objekte nöthig sei, dass ihr Bild in zwei verschiedene Nervenröhren falle; er glaubte sich berechtigt, diese Annahme verneinen zu dürfen; denn da der Querschnitt des Sehnerven 600 mal kleiner sei als die Retinafläche, so müsse einejede Primitivröhre in der Retina durch Schlängelung u. s. w. einen sehr beträchtlichen Raum decken. — Durch die Entdeckung von Helmholtz, dass die Röhren des Opticus für sich durch das Licht nicht erregt werden, ist aber diese Frage auf einen ganz andern Boden, wenn auch nicht der Lösung näher gebracht. Köllik er glaubte dadurch, dass er Stäbchen der Retina als die primär erregten Formen annimmt, das Räthsel gelöst zu haben; und in der That scheint diese Art der Auffassung von Bedeutung, wenn ihr der Zusatz gemacht wird, dass eine Einrichtung vorhanden sei, vermöge der eine

*) Gegen Volkmann siehe E. H. Weber; Tastsinn. Wagn. Handwörterb. III. B. 532.

und dieselbe Retinafaser einen Eindruck verschieden auffassen könne, je nachdem er von diesem oder jenem Stäbchen auf sie übertragen werde.

Die Schärfe des Sehens ist endlich abhängig von dem Grad der Aufmerksamkeit, welchen die Seele den von der Retina aufgenommenen Bildern zuwendet oder zuwenden kann. Aus tausendfältigen Erfahrungen jedes Menschen geht hervor, dass die Seele, nach in ihr wohnenden Bestimmungen, im Stande ist, von allen den Bildern, welche gleichzeitig auf die Retina fallen, nur das eine oder andere in den Kreis ihrer Betrachtung zu ziehen und dass es ihr leicht gelingt bald die von der Visio indirecta, bald die von der Visio directa ausgehenden Erregungen zu vernachlässigen, zum Vortheil derjenigen Primitivröhren auf die sie, um mit dem Kunstausdruck zu reden, ihre Intention richtet. Da nun aber die Seele, aus Gründen die im vorhergehenden enthalten sind, die genauesten Darstellungen der äusseren Gegenstände durch die Bilder empfängt, welche auf dem gelben Fleck entworfen sind, so richtet sie meist ihre Aufmerksamkeit nur auf diesen, und bei vielen Menschen so ausschliesslich, dass sie in den seitlichen Regionen der Retina sehr mangelhaft oder gar nicht orientirt sind. — An einem spätern Orte wird uns die für das vorliegende Thema wichtige Frage beschäftigen, ob die Grösse der Flächen, resp. die Zahl der Nervenprimitivröhren, auf welche die Seele innerhalb der Retina gleichzeitig ihre Intention richten kann, begrenzt oder unbegrenzt ist, und ob sich die Grenzen der gleichzeitigen Intention bestimmen lassen.

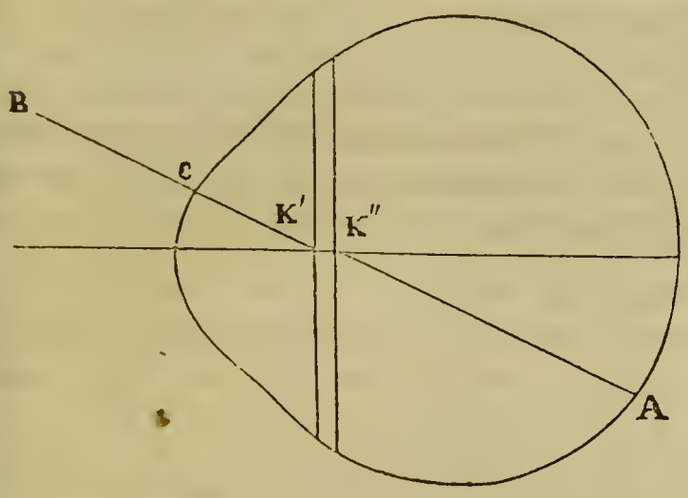
3. Sehen der Gegenstände im Raume. Der Physiologe steht von der vorerst noch metaphysischen Untersuchung ab, wie die Seele mittelst des Gesichtssinnes die Vorstellung des Raumes gewinne; indem er aber diese Vorstellung als einmal vorhanden annimmt, betrachtet er die Zustände des Sehorgans, welche mit besondern Raumvorstellungen Hand in Hand gehen, und diejenigen welche er mit grösserer oder geringerer Sicherheit als bestimmende Elemente des Urtheils für das Lagenverhältniss eines leuchtenden Punktes zu seinen Nachbarn und für die Ausdehnung des Lichtes ansehen kann.

Die erste wichtige Thatsache, welche uns beim Eindringen in den vorliegenden Gegenstand entgegentritt, ist, dass die vom Sehnerven auf die Seele geschehenden Erregungen nicht als Zustände irgend eines Theiles dieses Nerven aufgefasst werden, obgleich er doch offenbar die nächste Ursache der Empfindung enthält, sondern dass der Mensch den Grund der Seelenerregung in den Weltenraum, jenseits der Grenzen seines Sehorgans setzt. Die Annahme, dass der Grund des Sehens ausserhalb der brechenden Medien des Auges gelegen sei, macht die Seele nicht nur für die Erregungen des Sehnerven durch die Aetherschwingungen, sondern auch für Lichtbilder, welche ihre Entstehung einem Druck auf den Sehnerven oder seine Aus-

breitung verdanken; dieses letztere Resultat wird doppelt auffallend, wenn wir mittelst des Drucks noch zugleich ein die Oertlichkeit bestimmendes Gefühl durch den Tastsinn erhalten, wie es geschieht, wenn wir seitlich auf den Augapfel den Finger legen, wo wir den kreisförmigen Druck in den Tastnerven auf der Oberfläche des Auges fühlen und ausserhalb desselben, in Folge der gepressten Retina, den drückenden Finger als Lichtring sehen. Dieses Nachaussensetzen der Lichtempfindungen geschieht nun aber nicht willkürlich und ordnungslos, in Beziehung auf die Ausbreitung des Sehnerven und des Sehorgans überhaupt, sondern soweit bekannt nach folgenden Regeln:

a. Richtung des Sehens. Jeder empfindende Punkt der Retina steht in Bezug auf die Richtung, nach welche die in ihm geschehene Empfindung nach aussen gesetzt wird, in einer ganz bestimmten Beziehung zum Raume; die Richtung, in welcher dieses scheinbare nach Aussensetzen statt findet, erfolgt immer nach einer Linie, welche der vorderen Richtungslinie eines Strahlenbüschels entsprechen würde, der seine Vereinigung in dem erregten Netzhautpunkt fände. Man kann demgemäss die Richtung des Sehens construiren, so wie man den erregten Netzhautpunkt und die Lage der Knotenpunkte kennt, wie diess in Fig. 60 erläutert ist. Es sei *A* der erregte Netzhautpunkt, *K''* der hintere, *K'* der vordere Knotenpunkt, so wird *AK''* die hintere Richtungslinie und *BK'* die vordere Richtungslinie eines in jeder beliebigen Stelle der Linie *BC* liegenden leuchtenden Punktes sein, dessen divergirende Strahlen in *A* zur Vereinigung kommen; *BK'* wird demnach die Richtung darstellen, in welcher der erregte Netzhautpunkt seine Empfindung in den Raum legt. Demgemäss werden sich die erregten Netzhautstellen und ihre scheinbare Lage im Raume derartig entsprechen, dass die auf der untersten Grenze der Netzhaut liegenden Theile am meisten nach oben, die auf der obersten Grenze liegenden am meisten nach unten, die auf der rechten liegenden am meisten nach links und die auf der linken liegenden am meisten nach rechts in den Raum versetzt werden. Da es nun für die Bestimmung des gesehenen Lichteindruckes ganz gleichgiltig ist, ob die Erregung von mechanischen, electrischen oder leuchtenden (im optischen Wortsinn) Mitteln ausgeht, so hat man vorgezogen, die

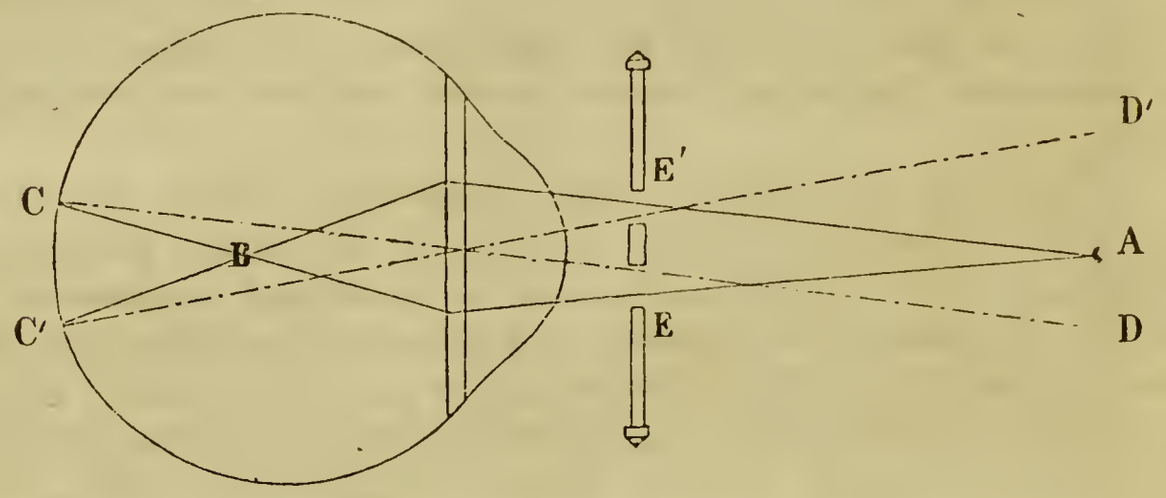
Fig. 60.



Linie, durch welche die Sehrichtung angegeben wird, mit einem besondern Namen, dem Sehstrahl, zu bezeichnen.

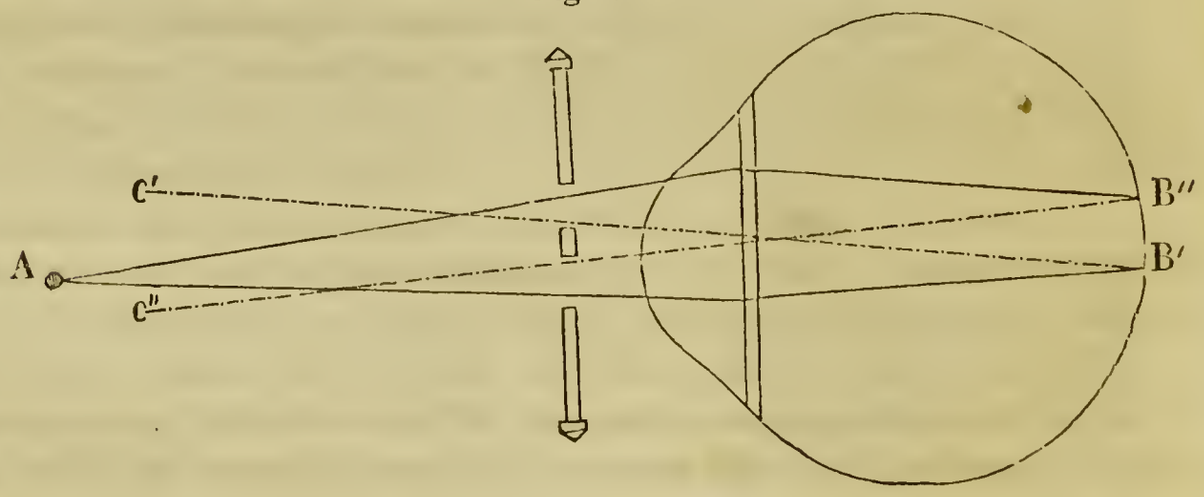
Die Beweise für die Richtigkeit der gegebenen Darstellung sind aus tausendfältigen Erfahrungen des menschlichen Sehens leicht zu geben So zum Beispiel: Ein Fingerdruck auf den Seitentheil des Augapfels erscheint als Lichtring immer auf der entgegengesetzten Seite des Druckes*). Die Lagerung der Zerstreuungskreise im Scheiner'schen Versuch gibt ebenfalls ein bemerkenswerthes Beispiel. Es

Fig. 61.



befinde sich vor dem Auge in Fig. 61 der leuchtende Punkt *A* dermassen aufgestellt, dass die Vereinignng der von ihm ausgehenden Strahlen in *B*, also vor der Retina geschehe (der leuchtende Gegenstand findet sich dann bekanntlich jenseits des Fernepunktes) so wird ein Theil des sichtbaren Zerstreuungskreises auf *C* und der andere auf *C′* fallen. Da die Sehstrahlen dieser Retinaorte dann *D′ C′*, bezüglich *D C* sind, so wird *C* in der Richtung von *D* und *C′* nach *D′* hin gesehen werden. Schliesst man nun mit einer Federmesserklinge eine von beiden Oeffnungen *EE* des Schirms, so wird jedesmal das ausgelöscht werden, welches scheinbar auf derselben Seite im Raume liegt, also nach Verschluss von *E′* verschwindet *D′* und nach Verschluss von *E* das *D*. — Befindet sich dagegen der leuchtende Körper *A* diesseits des Nähepunk-

Fig. 62.



tes wie in Fig. 62, so werden, da nun die von dem Punkte A ausgehenden Strahlen erst jenseits der Retina zur Vereinigung kommen, die Zerstreuungskreise auf *B′* und *B″* fallen und die ihnen entsprechenden Sehstrahlen sind *B′ c′* und *B″ c″*. Deckt man

*) Hierbei erscheint jedoch jedesmal nach einer Bemerkung von E. Becher, auch an der Druckstelle eine schwache Lichtempfindung, die wahrscheinlich ihren Grund in der Erregung einer Netzhautpartie auf der entgegengesetzten Seite hat, wohin sich der Druck fortpflanzt.

jetzt wiederum eine von beiden Oeffnungen so wird nicht das gesehene Bild der entsprechenden Seite, sondern das entgegengesetzte ausgelöscht, wie es die Theorie verlangt. — Zu den Beispielen zählt ferner, dass man alle oberhalb der Sehachse gelegenen Gegenstände, welche ihr Bild unterhalb derselben auf der Retina projiziren, oberhalb sieht, woher das vielberufene Aufrechtsehen des verkehrten Retinabildchens kömmt. — Zur Erläuterung dieser Erscheinungen und insbesondere des Nachaussensetzens der Lichtempfindung überhaupt, hat man hin und wieder der Annahme gehuldigt, als setze das Sehorgan während der Empfindung irgend etwas Concretes nach aussen. Die Unklarheit dieses Erklärungsversuches wird sogleich deutlich, wenn man fragt: was denn eigentlich nach aussen gesetzt werde; und wie ein auf die Seele geschehener Eindruck als etwas Aeusseres empfunden werden kann, wenn das Erregungsmittel neben einer von der Retina gegen das Hirn fortgepflanzten Wirkung noch eine zweite von der Retina gegen den Weltenraum dringende erzielt (Valentin Lehrb. II. b. 174), — Das Wort nach Aussensetzen ist nur ein bildlicher Ausdruck, um die Erscheinung zu bezeichnen, dass die Seele einen im Hirn vorhandenen Zustand seiner Ursache nach auf einen ausserhalb des Anges befindlichen Gegenstand bezieht. Der empirische Beweiss für die Fähigkeit der Seele eine irgendwie in ihr gebildete Sehvorstellung nach aussen zu setzen, liefert das allbekannte Beispiel der Träume. Welche Wege nun aber eingeschlagen sind, um ein solches Urtheil möglich zu machen, und es so zu befestigen, dass es trotz unseres besseren Wissens nicht umgestossen werden kann und wie das immer scheinbar unvermittelt, als in einfache sinnliche Anschauung anftritt, lässt sich noch nicht angeben. —

Die Richtung, in welcher das nach Aussensetzen vom Auge aus geschehen soll, d. h. die Beziehung, welche zwischen der Lage der erregten Netzhautpartikeln und der scheinbaren Lage der Bilder im Raume besteht, ist ebenfalls Gegenstand der Controverse gewesen. Nach der Annahme von Joh. Müller sollen die empfindenden Punkte die Ursache ihrer Erregung nicht in einer mit der Sehachse gekreuzten, sondern in einer mit ihr gleichläufigen Richtung nach aussen projiziren, so dass ein auf die untern Abschnitte der Retina treffender Lichtstrahl der von einem oberhalb der Sehachse liegenden Gegenstand kommt, in seiner Empfindung nicht wieder schräg nach oben, sondern gerade aus unten vor dem Auge gesehen wird.

Dem Einwurf, dass eine solche Projektion Verwirrungen im Sehen herbeiführen müsse, weil Alles am verkehrten Orte gesehen werde, begegnet Joh. Müller mit Recht dadurch, dass er darauf aufmerksam macht, wie der Begriff des Verkehrtsehens nicht entstehen könne, wenn eine Umkehr aller Theile in derselben Ordnung stattfinde, in der sie im Raume gelegen seien. Diese Hypothese ist demgemäss nicht absurd, sie ist aber nicht in Uebereinstimmung mit den Thatsachen. Denn nach ihr müsste die Lichterscheinung, welche wir mittelst eines Fingerdruckes auf das geschlossene Auge erzeugen, nicht in einer diametralen Richtung, sondern in gerader Richtung mit dem Drucke erscheinen; nun geschieht aber gerade das Umgekehrte, welches nichts anderes bedeutet, als dass wir alle von der unteren Hälfte der Retina her entstehenden Empfindungen nach oben u. s. w. setzen.

Der für die Seele unwiderleglich festgestellte Zusammenhang, welcher zwischen der Oertlichkeit der erregten Netzhautparthien und der Sehrichtungen besteht, weisst auf die Gegenwart eines feststehenden Mechanismus hin, durch den die Seele in ihrem Urtheil bestimmt wird. Man hat sich sehr bemüht, die besondere Natur desselben zu errathen; unter den verschiedenen Versuchen hierzu trifft wahrscheinlich nur einer eines der vielen Elemente, die hier möglicher Weise in Betracht kommen. Wir meinen den Erklärungsversuch, welcher behaup-

tet, dass auf die Bestimmung unseres Urtheils über die Lage derGegenstände, die Bewegungen einiger dem Willen unterworfenen Muskeln einen wesentlichen Einfluss übten, indem uns durch dieselben in unbewusster Weise Aufschluss über die Lage der Retina gegeben würde. Wie genau wir in der That, ohne es zu wissen, durch die Bewegungen des Kopfes und der Augenmuskeln von der Lage unserer Retina unterrichtet sind, erfahren wir zu unserem Erstaunen, wenn wir uns ein längliches Nachbild, z. B. das einer Kerzenflamme, erzeugen und dann Bewegungen des Kopfes oder der Augen ausführen; in diesem Falle verändert sich die Lage des Nachbildes entsprechend der Lagenveränderung des Auges; Ruete; diese Thatsache bedeutet nichts anderes als, dass wir eine gewisse Zahl von Punkten der Retina, welche wir in aufrechter Kopfstellung in einer senkrechten Linie gelagert glaubten, in horizontaler Kopflage für Theile einer horizontalen Linie ansehen. Daraus erklärt sich auch warum ein vor das Auge gestelltes Objekt seine Lage bei den erwähnten Bewegungen nicht ändert, trotzdem dass während dieser letztern fortwährend andre Retinapunkte das Object aufnehmen, wie man sich überzeugt, wenn man sich ein senkrechtes lineares Nachbild erzeugt und dann einen senkrecht vor das Auge gestellten Stab fixirt; bei aufrechter Kopfstellung fallen Gegenstand und Nachbild der Richtung nach zusammen, bei seitlich geneigtem Kopf behält der Stab seine senkrechte Richtung, während sich das Nachbild mehr und mehr horizontal legt, so dass sich nun Stab und Nachbild kreuzen.

b. Sehen mit zwei Augen*).

α) Einfachsehen. Zugeordnete, identische Netzhautstellen. Da nach den bis dahin mitgetheilten Erfahrungen zwei durch einen merklichen Zwischenraum getrennte Stellen einer Retina niemals in der Empfindung zusammenfallen, sondern als räumlich gesondert aufgefasst werden, so liegt es nahe anzunehmen, dass sich auch die Netzhäute beider Augen zueinander verhalten möchten, wie die verschiedenen Netzhautparthien desselben Auges. — Die nächste Folge dieser Annahme würde offenbar darin bestehen, dass wenn ein Gegenstand gleichzeitig in beide Augen seine Strahlen sendete, er als ein doppelter empfunden würde; dieses bestätigt sich aber keineswegs allgemein, da wir erfahrungsgemäss ganz gewöhnlich einen Gegenstand, der in beide Augen sein Licht schickt einfach sehen. — Der nächste Grund dieser Thatsache kann nur darin liegen, dass irgendwelche Orte der beiden Augen die Ursache ihrer Erregung in denselben Orten des Raumes suchen, mit andern Worten, dass gewisse Stellen beider Augen dieselbe Ortsempfindung vermitteln. Solche

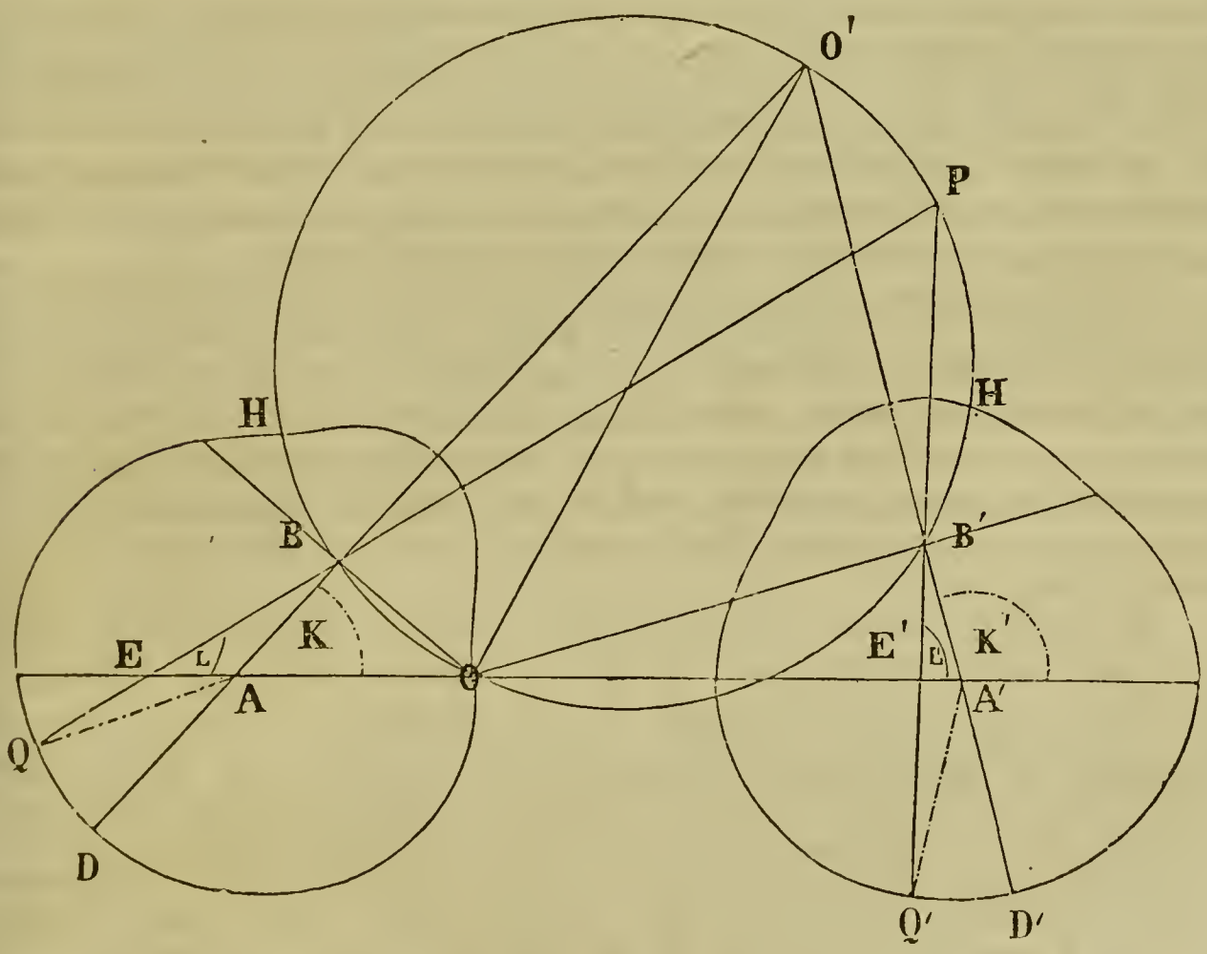
*) Joh. Müller, Handbuch der Physiologie. II. Bd. — Wheatstone, Poggend. Annalen 1. Ergänzungsband. — Brücke in Müllers Archiv 1841. p. 459. — Dove, Poggend. Annalen 71. Bd. — Regnault u. Foucault in Valentins Jahresbericht 1849 p. 177.

Stellen zweier Augen, welche die Ursache ihrer Erregung in denselben Orten zu finden glauben, nennt man identische, oder zugeordnete.

Die Lage der zugeordneten Stellen der beiden Sehhäute hat man auf zwei verschiedenen Wegen auszumitteln gesucht.

1) Auflösung der Aufgabe mittelst der Horopterfläche. Wenn wir die beiden Augen in einer bestimmten Stellung festhalten und unsere Aufmerksamkeit auf alle die leuchtenden Punkte richten, welche in beiden Augen ein Bild entwerfen, so gewahren wir bald, dass nur ein kleiner Theil dieser im Raume einfachen Körper auch wirklich einfach gesehen wird; diejenige Fläche, welche nun sämmtliche im Raume liegenden Punkte miteinander verbindet, die bei unverrückter Augenstellung trotz ihrer Abbildung in beiden Augen einfach gesehen werden, ist die Horopterfläche. Da nun offenbar die in der Horopterfläche gelegenen leuchtenden Punkte ihr Bild auf identische Netzhautstellen werfen, so muss sie hdie Lage dieser letztern ermitteln lassen, wenn man irgend eine Horopterfläche und die zu dieser gehörige Augenstellung kennt. Nachdem die Lage der identischen Netzhautstellen zu dem Horopter festgestellt ist, muss dann noch der Ausdruck für dieselben so geformt werden, dass sie auch unabhängig von irgend welchem Horopter angegeben werden kann. Wir werden im folgenden dieses Verfahren erläutern, wobei wir beispielsweise mit Joh. Müller vor-

Fig. 63.



aussetzen, es sei der Horopter eine Kugelschale. Gesetzt, es sei in Fig. 63 $HO'P$ ein Durchschnitt des Horopters und es stellen AA' die Drehungsmittelpunkte, B, B' die zu einem einzigen zusammengelegten Knotenpunkte, $B'O$, BO die Durchschnitte der Knotenebenen, und endlich $D'O'$, DO' die Sehachsen beider Augen vor. In diesem Falle wird O' seine Bilder auf D und D' und ein anderer beliebiger Punkt P des Horopters seine Bilder auf Q, und Q' werfen; daraus ergibt sich sogleich, dass diese Punkte beider Retinae einander zugeordnet sind.

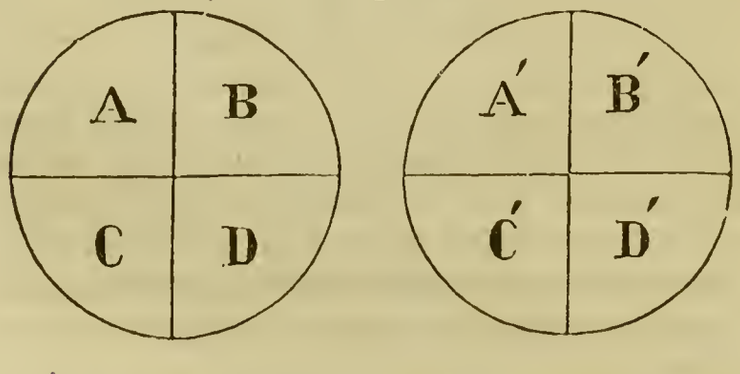
Es handelt sich also nur noch darum, die Angabe über die Lage von D, D, Q und Q' so einzurichten, dass es ermöglicht werde, die Punkte wieder aufzufinden, auch wenn nur das Auge gegeben ist. — Für D und D' findet sich der Ausdruck sogleich

darin, dass diese Stellen am Durchschnittspunkt der Retinae mit den Sehachsen gelegen seien. Für Q und Q' behaupten wir aber, dass er nach gleichen Richtungen des Raumes hingezählt sich in gleichem Abstand von D (dem Scheitelpunkt der Retina) finde, oder mit andern Worten, dass die Punkte Q' und Q an den Drehungsmittelpunkten A, A' mit den Sehachsen gleiche Winkel QAD und $Q'A'D'$ einschliessen. Denn es sei $Q'D' = QD$ so sind in den Dreiecken ABQ und $A'B'Q'$ ausser den Seiten AB und $A'B'$ (die constanten Entfernungen der Knotenpunkte vom Drehungsmittelpunkt) AQ und $A'Q'$ (den Radien des Retinakreises) auch die Winkel $B'A'Q'$ und BAQ gleich (als Nebenwinkel der gleichen Winkel QAD und $Q'A'D'$). Darum ist auch der Winkel $ABQ =$ dem Winkel $A'B'Q'$. Nennt man nun K', K die Neigungswinkel der Linien AO' und $A'O'$ gegen die Verbindungslinie der beiden Drehpunkte AA', und L, L' die Neigungswinkel der Linie QP und $Q'P'$ gegen AA', so ist in dem Dreieck $O'AA'$ der Winkel $AO'A'$ oder $B'O'B = K' - K$ (weil K' der Aussenwinkel von K und von $A'O'A$ ist); und in dem Dreiecke PEE' der Winkel EPE' oder $BPB' = L - L$. Ferner ist in dem Dreicke ABE der Winkel $ABE = K - L$ und eben so in dem Dreiecke $A'B'E'$ der Winkel $A'B'E' = K' - L'$. Nun, ist wie gezeigt, der Winkel $ABE = A'B'E'$, daher $K - L = K' - L'$, mithin $K' - K = L' - L$; folglich der Winkel $BPB' = BO'B'$. Legt man also durch die drei Punkte B, O', B einen Kreis, so ist auch P ein Punkt desselben. In eben diesem Kreise liegt auch der Punkt O, (der sich am Durchschnittspunkte der verlängerten Knotenebenen findet), weil OB und OB' mit $O'B$ und $O'B'$ gleiche Winkel bilden. Nun sind aber nach der Voraussetzung diese Winkel rechte *) mithin ist $O'O$ ein Diameter und die Mitte desselben der Mittelpunkt des Horopterkreises. — Man sieht also, es würde sich ohne Schwierigkeiten die relative Lage der identischen Punkte angeben lassen, wenn, was aber noch nicht mit entsprechender Schärfe geschehen ist, das Gesetz der Horopterfläche ausgemittelt wäre.

2) In Ermangelung der Anwendbarkeit dieses genauen Verfahrens bedient man sich eines andern, das ebenfalls von Joh. Müller zuerst in Anwendung gebracht wurde; man drückt auf eine dem Finger zugängliche Stelle des einen Auges, und tastet darauf auf dem zweiten Auge so lange mit dem Finger der andern Hand, bis die beiden Lichtkreise, die durch die Fingerdrücke erzeugt wurden, in einen einzigen zusammenfallen. Diese beiden Orte sind natürlich zugeordnete; begreiflich ist diese Methode nur auf einen geringen Theil der ganzen Retinaausbreitung anwendbar und immer sehr ungenau.

Mit Sicherheit kann man behaupten, es seien einander zugeordnet: die Pole beider Netzhäute, d. h. das Retinaende der Sehachse; die der Lage nach einander entsprechenden Abtheilungen der Sehhäute, so dass, wenn wir uns wie in Fig. 64 die beiden Sehhäute in ihrer natürlichen relativen Lage zu einander auf eine Ebene projizirt und die hierdurch dargestellten Kreise in Quadranten getheilt denken, der innere obere Quadrant A' des einen Auges dem äusseren oberen A' des andern Auges identisch sein muss und so fort, wie es die entsprechenden Buchstaben der Figur angeben.

Fig. 64.



*) Da die Sehachse senkrecht auf der Knotenebene steht.

Dieser letzten Angabe fügt man noch die genauere Bestimmung bei, dass die symmetrisch um die Netzhautpole gelegenen Theile identisch seien, so dass an der horizontalen Durchschnittsebene derselben die zugeordneten Punkte in dem einen Auge um so viel Grade nach aussen gelegen seien, als sie am andern nach innen sich vorfinden, während in dem senkrechten Durchschnitt die identischen Punkte beider Augen um gleichviel Grade nach oben oder unten abweichen. Diese Angabe bedarf aber noch der genaueren Bestätigung; sie läuft darauf hinaus, dass der Horopter ein Kugelmantel ist.

Man ist nun aber nicht stehen geblieben bei diesen Thatsachen, sondern hat auch noch weiter zu ermitteln gesucht, durch welche Einrichtungen die Anwesenheit der identischen Netzhautpunkte bedingt sein möchte. Die zahlreichen Erklärungsversuche, die man bis dahin aufstellte, lassen sich unter zwei obersten Gesichtspunkten zusammenfassen. Die eine Reihe von Hypothesen setzt nämlich voraus, dass zwischen Retina und Empfindungsorganen des Hirns am Sehnerven anatomische Einrichtungen — z. B. in dem Chiasma nervor. optic. — vorhanden seien, vermöge welcher zwei von der Nervenausbreitung herdringende räumlich gesonderte Erregungen zu einer mittleren verschmolzen würden, die dann erst zur Empfindung kommen. Die andere Hypothesengruppe verwirft die Gegenwart einer solchen Hilfsvorrichtung und behauptet, dass die räumlich gesonderte Erregung auch gesondert bis zum Empfindungsorgan vordringe um dort erst verschmolzen zu werden. Die Thatsachen erscheinen vorerst noch zu verwickelt, um schon jezt für die eine oder andere Vorstellung benuzt werden zu können.

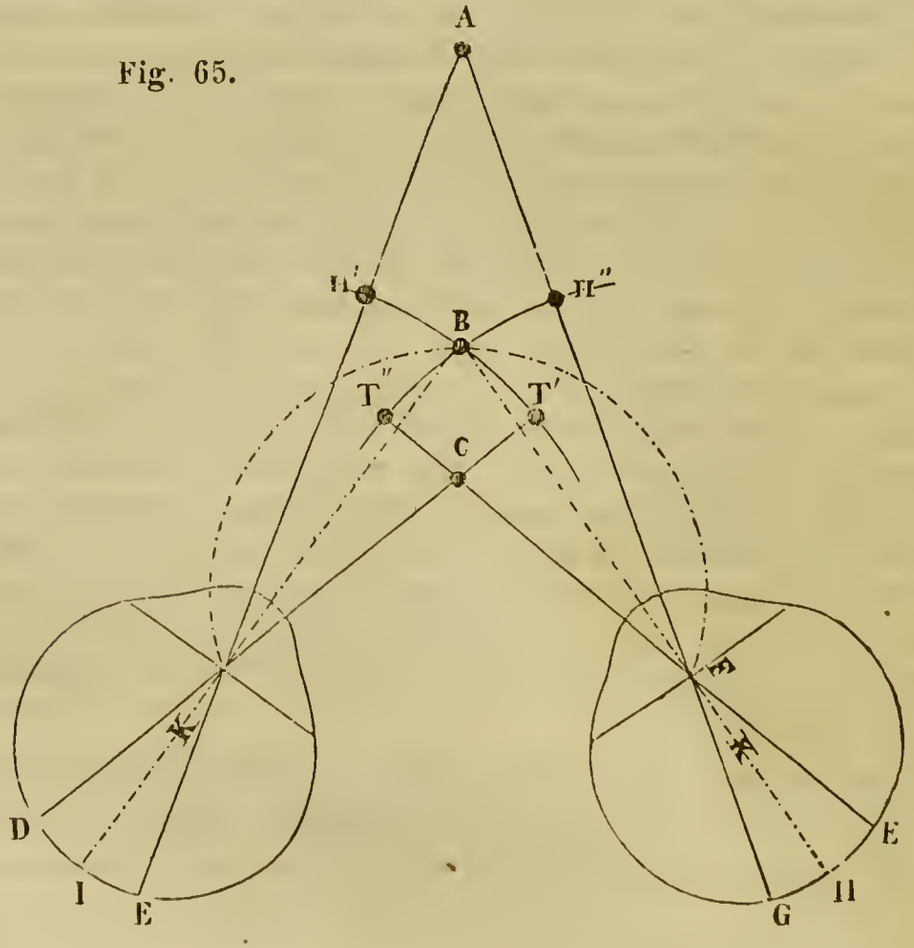
Die Beobachtungen, welche für die erstere der beiden Annahmen sprechen, bestehen darin, dass zwei Farben sich zur Mischfarbe vereinigen, wenn sie gesondert die identischen Netzhautstellen der beiden Augen treffen; Dove, Regnault. Dieser Versuch gelingt jedoch nicht immer; Dove gibt als eine der Bedingungen des Gelingens an, dass man prismatische Farben und keine Pigmente benutzen müsse. Für mein Auge gelingt es auch mit Pigmenten, indem mir die Empfindung des weissen entsteht, wenn ich mit dem einen Auge gelb und mit dem andern blau sehe. — Für die andere Meinung kann man dagegen anführen, dass wenn wir gleichzetig vor jedes Auge eine Röhre halten, und durch diese beliebige aber verschieden gestaltete Gegenstände sehen, die beiden Bilder derselben als sich deckende in demselben Raume befindliche empfunden werden, so dass die identischen Netzhautstellen nur die Empfindung des gemeinsamen Ortes aber nicht des gemeinsamen Inhaltes (des mittlern Eindrucks aus den beiden gesonderten) angeben. — Aehnlich verhalten sich auch die Augen vielen Farben gegenüber. So sieht man z. B., wenn man denselben Gegenstand mit zwei Augen betrachtet, während man vor dieselben verschiedenfarbigen Gläser setzt, diesen Gegenstand nicht in der Mischfarbe beider Gläser, sondern entweder nur in der des einen Glases, oder wechselnd bald in dieser bald in jener (Wettstreit der Sehfelder).

β) Doppeltsehen. Aus der Lehre von den zugeordneten Sehpunkten ergibt sich nun mit Nothwendigkeit, dass ein und derselbe Gegenstand, welcher sein Bild auf nicht identische Stellen des Auges

wirft, doppelt erscheinen muss; oder anders ausgedrückt, alle ausserhalb des Horopter liegenden Gegenstände werden als doppelte empfunden, wenn sie auch nur einmal im Raume vorhanden sind. Dieses tritt nun in der That ein. Um das Doppeltsehen einfacher Gegenstände zu gewahren, stecke man sich auf ein Stäbchen in gerader Linie drei Nadeln in gegenseitigen Abständen von ungefähr einem Zoll und halte dasselbe innerhalb der Sehweite in die Mitte zwischen beide Augen horizontal und unter einem rechten Winkel gegen die Verbindungslinie beider Augenmittelpunkte. Stellt man nun die beiden Augenachsen so, dass sie sich auf der mittleren von den drei Nadeln gerade schneiden, und hält die Augen in dieser Stellung unverrücklich fest, während man seine Aufmerksamkeit auch auf die Bilder der andern Nadeln richtet, so werden diese augenblicklich in Doppelbildern empfunden.

Die drei Nadeln geben also fünf Bilder, welche sich wie die hier gezeichneten Punkte ⁘ gruppiren. Das mittlere dieser Bilder, welches von der Nadel erzeugt wird, die im Schnittpunkt beider Sehachsen liegt, gehört beiden Augen an. Von den Doppelbildern der nähern Nadel ist das rechte dem linken und das linke dem rechten Auge zugehörig, und umgekehrt von den Doppelbildern der entferntesten Nadel gehört das rechte zum rechten und das linke zum linken Auge. — Hiervon überzeugt man sich, wenn man bei unverrückten Augen eines derselben schliesst; es verschwinden dann sogleich zwei Bilder, und zwar in der Art, dass wenn man z. B. das rechte Auge deckt, unter den Doppelbildern der nächsten Nadel das entgegengesetzt seitige, das linke, und unter denen der ferneren das gleichseitige, das rechte, ausfällt.

Fig. 65.



Eine Erläuterung dieser merkwürdigen Erscheinung ist von J. Müller gegeben worden. Es seien in Fig. 65 *A, B, C* die drei Nadeln, und es sollen die Augen *I, II* so gestellt sein, dass sich ihre Sehachsen *I B* und *II B* in *B* schneiden. *B* wird demnach sein Bild auf *I* und *II* oder auf identischen Stellen entwerfen d. h. einfach erscheinen. Unter dieser Voraussetzung bildet sich *C* in dem Auge *I* bei *D* und in dem Auge *II* bei *E* ab und ebenso *A* bei *F* und *G*. Demnach treffen diese Bilder in den verschiedenen Augen auf nicht identischen Netzhautstellen und erscheinen doppelt. Nun sehen wir nach einem schon besprochenen Gesetz jeglichen leuchtenden Punkt auf der Verlängerung seines Richtungsstrahles, es wird demnach das Bild von *D* in der Richtung von *D T'*, und das Bild *E* in der Richtung *E T''* und ebenso *F* in der Richtung *F H'* und *G* in der Richtung *G H''* nach aussen gesetzt. Wie wir aber später erfahren werden, bestimmen wir die Entfernung eines jeden Bildes nach dem Abstand des Durchschnittspunktes beider Sehachsen vom mechanischen Mittelpunkt des Auges; wir werden also alle 5 Bilder in der Entfernung *B* zu sehen glauben. Nach diesen Angaben können wir nun den scheinbaren Ort der Doppelbilder leicht construiren, wenn wir mit dem Radius *K B* von den mechanischen Mittelpunkten der Augen aus Kreise ziehen; die Durchschnittspunkte *H', H'', F', F''* derselben mit den Richtungsstrahlen oder deren Verlängerungen werden die scheinbaren Orte der Bilder *F, G, D, E* sein.

Aus dieser Erläuterung folgt noch, dass mit der Verkleinerung des Zwischenraumes zwischen den Nadeln der Abstand zweier zu einem Gegenstand gehörenden Bilder abnimmt. Ausserdem lässt sich mit Hilfe dieses einfachen Versuchs auch noch darthun, dass in der That der Horopter keine endliche Dicke besitzt, indem alle jenseits und diesseits des Fixationspunktes gelegenen Theile sogleich doppelt erscheinen. Dem Anfänger ist bei Wiederholung des im Text erwähnten Versuchs zu rathen, dass er ihn mit der Anwendung von nur zwei Nadeln beginne, und wechselnd bald die nähere und bald die fernere visire.

Da der Horopter wahrscheinlich eine Kugelschaale, jedenfalls ein Gebilde von verschwindender Dicke, darstellt, und da ausser den im Horopter liegenden leuchtenden Punkte auch viele der jenseits und diesseits desselben befindlichen ein Bild im Auge entwerfen, so muss die Summe der zu Doppelempfindung Veranlassung gebenden Bildern ausserordentlich viel grösser sein als die der einfach zu empfindenden. Da wir nun aber nachweisslich diese Doppelbilder nur sehr selten, und für das normale Auge nur unter ganz bestimmten schwierig zu erzeugenden Umständen sehen, so müssen irgend welche Gründe vorliegen, die es bedingen, dass wir die Doppelbilder ausser Acht lassen. Diese Gründe liegen nun wahrscheinlich darin, dass im Sehfeld der normalen Augen zu allen Zeiten Bilder vorhanden sind, welche zu einer einfachen Empfindung zusammengelegt werden können und dass die einfach empfundenen Bilder der Seele einen intensiveren Eindruck geben als alle übrigen, die darum unsere Aufmerksamkeit (welche sich gleichzeitig nur auf beschränkte Stellen der Retinae richten kann) vor allen andern in Anspruch nehmen. — Die erste der angegebenen Bedingungen, dass in beide Augen immer Bilder fallen, welche einfach empfunden werden können, wird durch die schon früher erwähnte bestimmte Verkettung der Augenmuskeln erzielt, in Folge deren die Augen stets eine solche Stellung erhalten, dass sich die Sehachsen in einem vor den Augen gelegenen Punkt

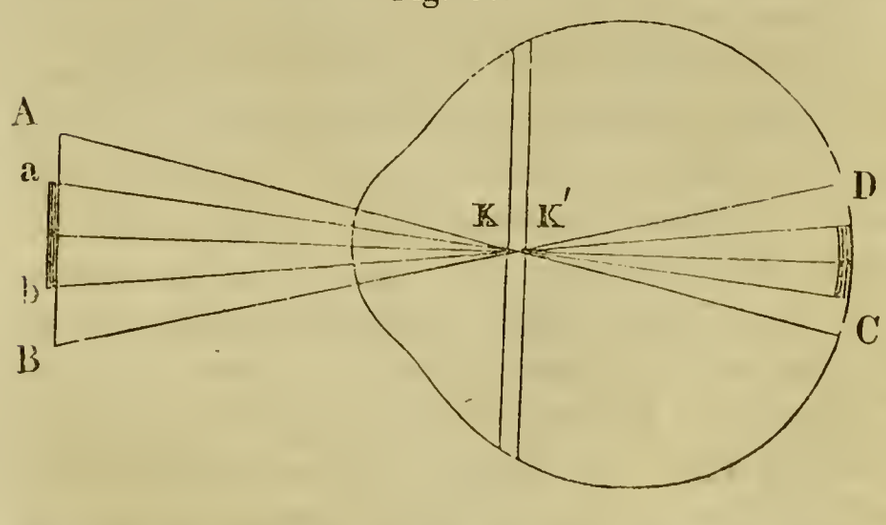
schneiden und die identischen Netzhautmeridiane einander parallel laufen. Unter dieser Voraussetzung müssen selbstverständlich die im Durchschnittspunkt beider Sehachsen liegenden Gegenstände ihre Bilder auf identische Netzhautstellen senden. Diese hier entworfenen Bilder wirken aber intensiver als alle übrigen, weil sie erstens auf die empfindlichste Netzhautstelle treffen und dann, weil auf diesem Wege die Seele denselben Eindruck doppelt empfängt und weil endlich, nach einem bemerkenswerthen Zusammenhang der zwischen dem Accommodationsapparat und den Augenmuskeln besteht, der optische Apparat des Auges unwillkürlich gerade für die Entfernung eingestellt ist, in welcher sich die Sehachsen schneiden.

Die Beziehung, welche zwischen der zur Convergenz der Sehachsen führenden Augenbewegung und dem Accommodationsapparate besteht, scheint eine durch die Erziehung der Augen erworbene zu sein. Wie Volkmann*) erwiesen, kommen wenigstens die Fälle zahlreich vor, wo der optische Apparat des Auges nicht für die Entfernung des Convergenzpunktes beider Sehachsen eingestellt ist.

c. Grösse eines gesehenen Gegenstandes. Die Grösse eines Gegenstandes, d. h. seine scheinbare Ausdehnung nach Höhe und Breite, schätzen wir nachweislich unter Beihilfe mehrerer Elemente, und namentlich: nach der Ausdehnung, welche das Bild des Gegenstandes auf der Retina einnimmt; und nach dem Grade von Zusammenziehung, in welcher sich die Muskeln des dioptrischen Einrichtungsapparates und die mm. recti interni bulbi zu der Zeit befinden, als der Lichteindruck des Bildes empfunden wurde.

Alles andere gleichgesetzt wächst, wie es scheint, unsre Vorstellung von der Grösse eines Gegenstandes mit der Ausdehnung seines Bildes auf der Retina oder seinem Sehwinkel.

Fig. 66.



Der Winkel AKB oder $DK'C$, Fig. 66, welchen die vordern (AK, BK) oder hintern $(DK'CK')$ Richtungsstrahlen der Grenzpunkte A und B eines Gegenstandes AB an den Knotenpunkten einschliessen, heisst der Sehwinkel. Dieser Sehwinkel gibt, wie man sieht, ein genaues Maass für die Grösse des auf der Retina entworfenen Bildes, weil die Entfernung der Knotenpunkte von der ersteren eine constante bleibt. — Die obigen Angaben, dass ein Gegenstand in unserm Urtheil wie der Sehwinkel wachse, bedarf keiner Erläuterung, da es jedem bekannt ist, dass wenn er zwei Gegenstände, wie AB und ab in der Fig. 66, im Raume aufeinanderlegt, der kleinere $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, u. s. w. mal so gross, als der grössere erscheinen wird, wenn sein Sehwinkel $a'K'b'$ $\frac{1}{4}$. $\frac{1}{2}$ u. s. w. mal so gross ist.

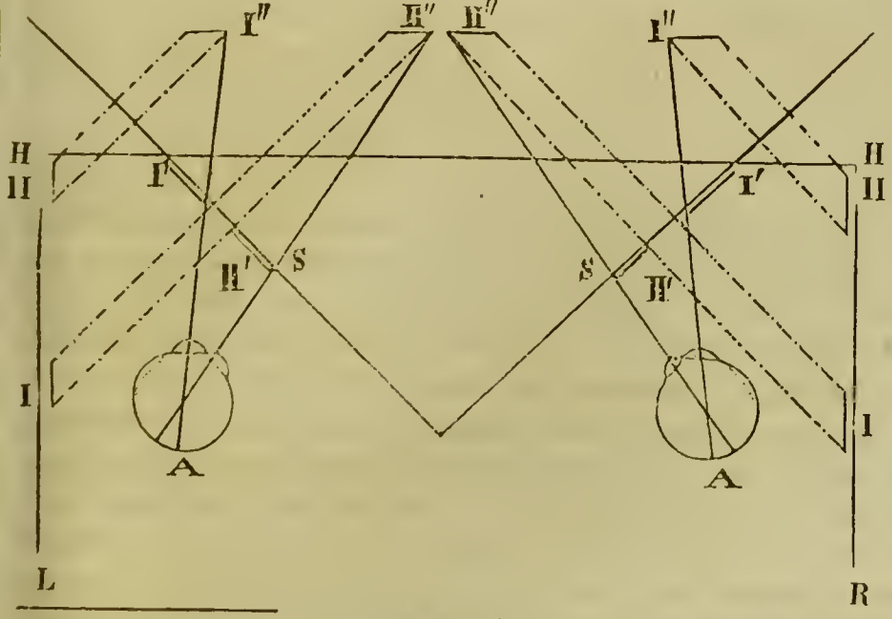
*) Wagners Handwörterbuch III. Bd. 307.

Der physiologische Grund dieses Urtheils kann nur darin liegen, dass die durch die Retina gehenden Eindrücke von der Seele als eine Summe von Empfindungseinheiten aufgefasst werden, so dass die Seele die Ausbreitung des Bildes direkt durch die Grösse dieser Summe misst. Wir wissen nicht wie diese Maasseinheit hergestellt werde, nehmen wir aber z. B. an, es sei die Maasseinheit die Empfindung, welche eine Primitivröhre in das Hirn sendet, so würde die Vorstellung von der Grösse eines Bildes wachsen mit der Summe der Primitivröhren, welche von demselben erregt wurden.

Alles andere gleichgesetzt und namentlich den Sehwinkel und die Convergenz unserer Augenachsen verkleinert sich in unserem Urtheil ein Bild mit wachsender Einrichtung unseres Auges für die Nähe. Den scharfen Beweiss für diese Behauptung liefert ein schon seit lange bekannter Versuch: man erzeuge sich das Nachbild einer Kerzenflamme und betrachte dieses mit einem Auge, bald während man das Auge zum Sehen in die Ferne einrichtet (d. h. während man z. B. auf die entfernte Wand des Zimmers sieht) und bald während man für die Nähe accommodirt hat. Dieses Bild wird, wenn man vom fernen zum nahen Sehen übergeht, trotzdem dass es immer denselben Raum auf der Retina einnimmt, um ein sehr beträchtliches an Grösse abzunehmen scheinen.

Die bis dahin erwähnten Elemente machen sich geltend, beim Sehen mit einem und mit zwei Augen; — hierzu kommt nun aber noch ein weiteres, welches vorzugsweise beim Binocularsehen sich einflussreich erweist. Unser Urtheil über die Grösse eines Gegenstandes, der mit zwei Augen betrachtet wird, hängt auch ab von dem Convergenzwinkel der Sehachse beider Augen; und zwar gilt nach H. Meyer*) der Grundsatz, dass alles andere gleichgesetzt, die Grösse des Bildes in dem Maasse abnimmt, in welchem der Convergenzwinkel der Schachsen wächst.

Fig. 67.



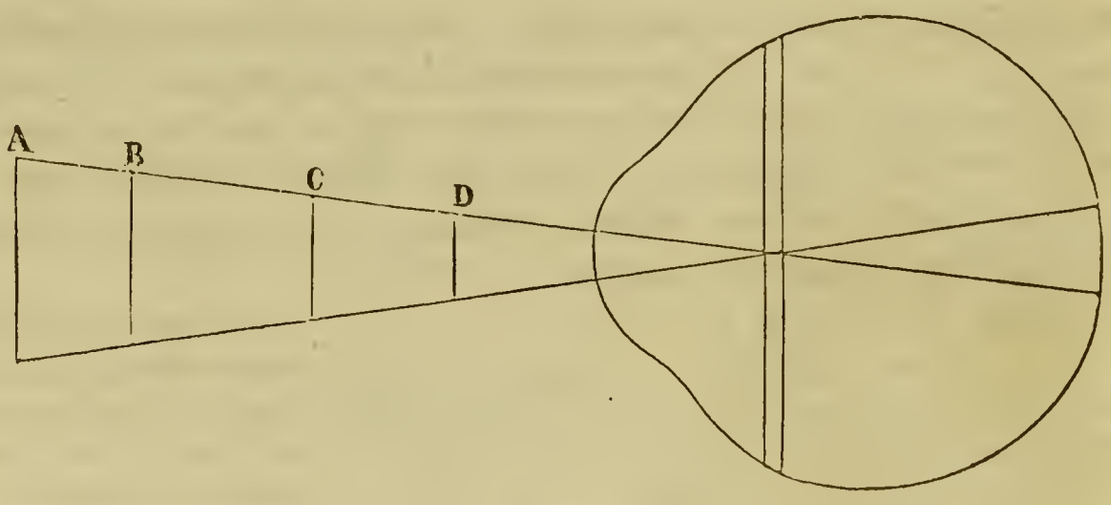
Den Beweis für dieses Gesetz liefert Meyer mittelst des Spiegelstereoskopes von Wheatstone. Dieses Instrument, Fig. 67, besteht aber aus zwei unter einem rechten Winkel aufgestellten Spiegeln *S S'*, welche auf eine Holzplatte *II II* so befestigt sind, dass sie ihre Winkel und ihre spiegelnden Flächen von der Platte abwenden. Platte und Spiegel sind in einen hölzernen, vorn offenen Kasten eingefügt,

*) Ueber die Schätzung der Grösse u. s. w. Poggend. Ann. 85. Bd. 198.

dessen Seitenbretter *II L*, *II R* um den Abstand deutlicher Sehweite von den Spiegeln entfernt stehen. Fügt man auf das Brett *II R* die perspektivische Ansicht eines Gegenstandes, wie sie sich für das rechte Auge darstellt, und auf das Brett *II L* eine gleiche für das linke Auge, und hält darauf die Augen *A, A* in gezeichneter Weise vor die Spiegel, so vereinigen sich beide Bilder zu einem einzigen von stark perspektivischer Wirkung, in dem Augenblick in welchem sich die identischen Netzhautstellen auf die zusammengehörigen Punkte der Figuren einstellen. — Gesetzt nun, wir hätten an die Seitenbretter die Zeichnungen *I I* angeheftet, so werden seine Spiegelbilder in *I' I'* erscheinen, denn die von ihnen ausgehenden Strahlenbüschel werden divergiren, als kämen sie von dem Punkte *I'' I''* (die punktirten Linien geben die bekannte katoptrische Construktion über die Lage von *I'* und *I''*). Um den innern Punkt von *I* einfach zu sehen, müssen wir die Sehachse in die Richtungen *A I''* stellen. Verrücken wir nun dieselben Zeichnungen nach *II II*, so werden die Spiegelbilder in *II' II'* und die ihnen scheinbar entsprechenden objektiven in *II'' II''* auftreten. Um nun jeden der inneren Punkte des Gegenstandes einfach zu sehen, müssen sich die Augenachsen nach *A II''* stellen, also unter einem beträchtlich grösseren Winkel als vorher convergiren. Indem man diese Verschiebung ausführt, entfernt sich das Bild, wie die Zeichnung angibt, um ein Geringes und es müsste darum der früheren Regel nach wegen des Einflusses des Accommodationsapparates das Bild sich scheinbar vergrössern. In Wahrheit aber scheint es sich ganz ausserordentlich zu verkleinern. Da alle übrigen Umstände unverändert geblieben sind und nur die Convergenz der Sehachse wechselte, so können wir als Grund der veränderten Anschauung nur die gesteigerte Convergenz der Sehachsen ansehen.

Ausser den bisher mitgetheilten Thatsachen gibt es noch tausendfältige, welche den Einfluss der drei Elemente auf unser Grössenurtheil beweisen, die aber erst verstanden werden, wenn man sie nach obiger Anleitung zergliedern lernte. — Dahin gehört gleich die Erfahrung, dass die unter gleichen Sehwinkeln befindlichen Gegen-

Fig. 68a.



stände *A, B, C, D*, Fig. 68a, bis zu gewissen Grenzen mit der Entfernung vom Auge sich fortwährend vergrössern, was unmöglich wäre, wenn unsere Grössenschätzung nur vom Sehwinkel abhängig wäre. Da die Zunahme der Vergrösserung auch noch über die Grenzen der Sehweite geschieht, so muss offenbar neben dem Einrichtungsapparat noch ein anderes Element wirken. — Vergleicht man ferner die Grösse zweier in beträchtlichen Entfernungen von einander gehaltenen Gegenstände, z. B. die Fenster eines gegenüberstehenden Hauses und ein in der Hand gehaltenes Bleistift, eine Messerklinge etc., so wird der nähere Gegenstand scheinbar grösser, wenn man auf das Fenster accommodirt und umgekehrt das Fenster auffallend kleiner, wenn man auf das Bleistift accommodirt. Diese Thatsache kann nicht, wie Heermann will, aus der verschiedenen Grösse der Bilder auf der Retina bei Einstellung auf Nähe oder Ferne abgelei-

tet werden, da im ersten Fall allerdings das scheinbare Grösserwerden des nähern Gegenstandes mit seinem Erscheinen im Zerstreuungsbilde auf der Retina, also mit einer wirklichen Vergrösserung zusammenfällt, im zweiten Falle dagegen die scheinbare Verkleinerung des ferneren Gegenstandes ebenfalls mit einer wirklichen Vergrösserung des Retinabildes zusammentrifft. Eine Erläuterung darüber zu geben, wie diese drei Elemente zusammenwirken, und vermittelst welchem Mechanismus sie auf die Seele wirken, ist unmöglich. Aufmerksamkeit verdient aber der Umstand, dass die durch diese Elemente gegebene Grundlage der Vorstellung durch keine Erinnerung oder anderweitige bessere Ueberzeugung verdrängt oder bewältigt werden kann; obwohl der Physiologe weiss, dass ein auf der Retina vorhandenes Nachbild durch eine Accommodation der optischen Apparate auf verschiedenen Fernen in seiner Grösse nicht verändert werden kann, so sieht er es sich doch mit den Accommodationsbewegungen verändern.

Im Text sind nur die einfachsten Arten der Grössenbestimmung erwähnt; es gibt aber in der That auch andere, complizirtere, welche zu einer gründlichen Zergliederung noch nicht reif sind. Dahin gehört die Vorstellung, welche wir von der Grösse eines Gegenstandes erhalten, indem wir das Auge über denselben hinführen. Ob wir in diesem Falle die Zahl der differenten Eindrücke summiren, oder ob wir nach der Muskelbewegung die Grösse des Winkels, den wir am Drehpunkt des Auges beschreiben, schätzen und dergl., ist vollkommen unklar; darum lässt sich auch die von Listing angeregte Controverse, ob derselbe Gegenstand bei direktem Sehen (d. h. bei Ueberführung der Sehachse über denselben) kleiner erscheine, als bei indirektem, theoretischer Seits nicht erledigen, wenn auch erwiesen ist, dass derselbe Gegenstand im indirekten Sehen einen grösseren Sehwinkel besass, als im direkten. Ferner gehört hierher auch die verschiedene Grössenvorstellung, welche wir erhalten, wenn wir einen Gegenstand wechselnd bald mit einem und dann mit zwei Augen fixiren. Endlich siehe weiteres bei Dove *).

d. Ausbreitung eines Bildes in die Tiefe, Anschauung des Körperlichen und der Entfernung. Zur Vollendung unserer Vorstellungen über das Sehen der Gegenstände im Raume, gehört noch die Bildung eines Urtheils über ihre Ausbreitung in der sogenannten dritten Dimension. Dieses Urtheil wird nachweislich bestimmt durch den Zustand des Accommodationsapparats, Moser, die Convergenz der Sehachsen, Brücke, und wo diese Mittel nicht mehr ausreichen, durch die relative Lichtstärke und vielleicht durch die verschiedene Grösse der Zerstreuungskreise, unter welchen die Gegenstände erscheinen.

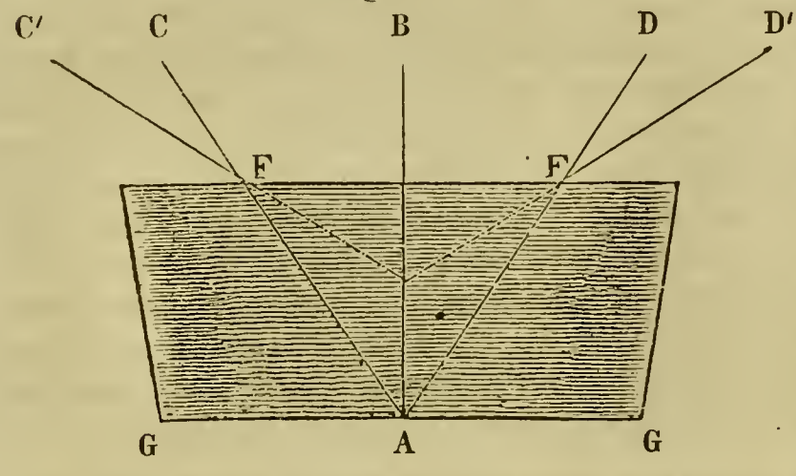
Da der Accommodationsapparat die Gegenstände verschiedener Entfernungen in zeitlicher Reihenfolge zu deutlichen Bildern umsetzt, und damit die Leuchtpunkte an das Auge zieht, oder sie von ihm loslöst, so wird sein Werth für das Schätzen der Entfernung von vorne herein wahrscheinlich. Thatsächlich wird nun auch diese Vermuthung erwiesen: dadurch dass die gesehenen Gegenstände um so näher erscheinen, je divergirender die von ihren leuchtenden Punkten ausgehenden Strahlen in das Auge fallen. Wenn darum ein Gegenstand

*) Poggendorf Annalen. 81 Bd. 118.

auch seine Lage unveränderlich im Raume bewahrt, so wird er dennoch dem Auge sich bald zu nähern und sich bald von ihm zu entfernen scheinen, wenn zwischen ihn und das Auge optische Mittel eingeschoben werden, durch welche der Convergenzwinkel seiner Strahlen nach der einen oder andern Seite hin eine Aenderung erfährt. Mit Rücksicht auf die Einrichtungswerkzeuge ausgedrückt bedeutet dieses: die auf unserer Sehhaut abgebildeten Gegenstände erscheinen uns um so näher, je grössere Anstrengungen die Muskeln des Einrichtungsapparates unternehmen mussten, um das Bild deutlich zu entwerfen.

Als eines der bekanntesten Beispiele für diese Angaben kann es dienen, dass ein Körper, welcher auf dem Boden eines leeren Glases liegt, gehoben erscheint, nachdem man das Glas mit Wasser füllte. Als sich nur Luft über dem leuchtenden Punkte *A*, Fig. 68b, der auf dem Boden des Gefässes *GG* gelegen ist, vorfand, schickte er z. B. drei beliebige Strahlen *AC*, *AB*, *AD* unter dem Winkel *CAD* aus, welche wie wir voraussetzen, von einem in *B* befindlichen Auge wiederum auf einen Punkt der Retina zusammen gebrochen werden. Als nun eine Flüssigkeit aufgegossen wurde, welche einen höheren Brechungscoefficienten als die Luft besitzt, wurde aus bekannten Gründen an den Grenzflächen der Luft und der Flüssigkeit, die Strahlen *CF* und *DF* nach *C'* und *D'* (welche früher auf *C* und *D* eintrafen) abgelenkt. Die von demselben Orte austretenden Strahlen divergiren also stärker, als früher.

Fig. 68b.



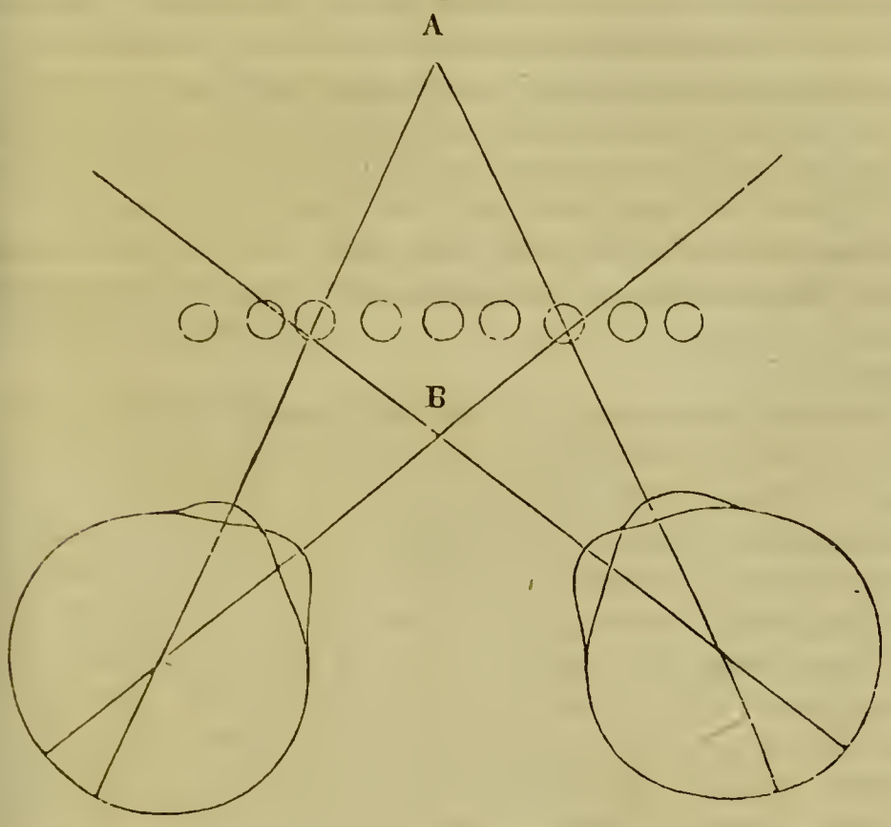
Beim Sehen mit zwei Augen unterstüzt der Convergenzwinkel der Sehachsen, oder besser ausgedrückt die ihn bestimmende Muskelzusammenziehung, noch die Bildung eines Urtheils über die Entfernung der Gegenstände. Je mehr sich die Gegenstände dem Parallelismus nähern müssen, um auf einen zu sehenden Punkt einzuschneiden, um so entfernter erscheint uns derselbe. Dieses wichtige Faktum ist in seiner einfachsten Gestalt von H. Meyer*) dargestellt.

Meyer lehrte einen Versuch, in welchem es gelingt, ein und denselben Gegenstand durch wechselnde Convergenz der Sehachsen in verschiedene Entfernungen zu sehen. Man fixirt, um dieses zu bewerkstelligen, einen Gegenstand scharf und anhaltend, den man über einen Rohrsessel, oder eine fein gemusterte Tapete, oder überhaupt über ein Gebilde hält, in welchen dieselben Formen in regelmässiger Wiederkehr vorhanden sind. Beachtet man nun auch die Figuren dieses Gebildes, während man den Fixationspunkt unverrücklich erhält, so rücken dieselben sehr bald in die Ebene des scharf gesehenen Gegenstandes. Der Versuch gelingt am besten, wenn man die fixirten Punkte in nicht zu grosse Entfernung von dem Rohrsessel legt. Die Figur 69 erläutert, warum diese Erscheinung am leichtesten erzeugt

*) Archiv für physiolog. Heilkunde. I. Bd. — Brewster, Philosoph Magaz. XXX. 366.

werden kann, wenn man den fixirten Gegenstand auf einen andern von regelmässig wiederkehrendem Muster hält; denn nur dann ist es möglich, dass sich auch ohne Kreuzung der Sehachsen in der Ebene des Musters auf identischen Netzhautstellen entsprechende Abschnitte desselben abbilden, die zu einem Bilde zusammengelegt werden können. So sollen in der Figur die kleinen Kreise das regelmässig wiederkehrende Muster darstellen. Wird nun ein Punkt *A* jenseits, oder ein Punkt *B* diesseits desselben fixirt, so fallen auch immer ungefähr zusammenpassende Abschnitte der Kreise, die in der Vorstellung leicht zu einem zusammengelegt werden können auf identische Netzhautstellen. Beim Fixiren des Punktes *A* rückt also das Muster nach *A* und wird, wie aus früheren Darstellungen folgt, grösser; bei scharfem Betrachten von *B* stellt sich das Muster, indem es zugleich kleiner wird, näher. — Ist man einmal in diesem Versuch geübt, so sieht man auch bald, beim Federschneiden u. s. w. die entferntere Tischplatte, die Schrift eines Buches u. dergl. vor das Auge rücken und mit der Feder sich kreuzen.

Fig. 69.



Jenseits der deutlichen Sehweite und in Abständen, in welchen die Gegenstände mit fast parallelen Sehachsen aufgefasst werden, gewinnt die relative Lichtstärke ebenfalls einen Einfluss auf Schätzung der Entfernungen; unzweifelhaft erscheinen uns ferne Gegenstände, z. B. die den Horizont begrenzenden Bergmassen, je nach dem Grad der Erleuchtung und der durch dieselbe bewirkten Sonderung ihrer einzelnen Gruppen, näher oder ferner; keinenfalls aber gewinnt innerhalb der deutlichen Sehweite die Lichtstärke einen Einfluss; noch niemals wird es gelungen sein, einen Schatten, den man auf einen sonst erleuchteten ebenen Gegenstand wirft, als eine Vertiefung zu sehen. Die Schätzung des Abstandes sehr entfernter Gegenstände ist übrigens ungenau genug; so glaubt man den Mond unmittelbar auf dem Gipfel entfernter Berge stehen zu sehen oder hält selbst hohle Flächen z. B. in geschnittenen Steinen oder Gypsabgüssen für erhaben und umgekehrt; Moser, Brewster.

Zu den oben erwähnten Beispielen über die Wirkung des Accommodationsapparates als formbestimmendes Mittel fügen wir noch die Erscheinung des Nahetretens der Gegenstände, die man durch ein Teleskop betrachtet; die scheinbare

Entfernung oder Näherung eines auf der Retina vorhandenen Nachbildes, je nachdem man das Auge für die Ferne oder die Nähe accommodirt u. s. w.

Beim Sehen mit zwei Augen scheint der Accommodationsapparat eines jeden Auges in der Weise in die Bestimmung der Ferne mit einzugehen, dass die mittlere Wirkung beider das Maass abgibt. Hierfür scheint die Erfahrung zu sprechen, die man aus der Beobachtung eines linienförmigen Körpers gewinnt, den man seitlich von der Angesichtsfläche hält, so dass er dem einen Auge um ein beträchtliches näher steht, als dem andern. Dieser rückt aus seinem scheinbaren mittleren Abstand in die Ferne, wenn man das nähere Auge schliesst und umgekehrt aus dem scheinbaren mittlern Abstand in die Nähe, wenn das fernere Auge geschlossen wird, nachdem man vorher mit beiden Augen hinsah. Dieses Phänomen wird namentlich deutlich, wenn man rasch mit dem Schliessen der Augen wechselt, wobei der körperliche Streifen in deutliche Bewegung geräth.

Die Wirkung der Sehachsen-Convergenz für die Bestimmung der Entfernung wird vollkommen klar, wenn man zergliedert, wie sich beim Sehen mit zwei Augen die Anschauung des Körperlichen entwickelt. Nach Brücke*), dem alle Späteren gefolgt sind, bildet sich die Anschauung eines jedweden Körpers nicht durch einen einzigen Blick, sondern aus einer Reihe rasch aufeinander folgender, deren zeitlich getrennte Wirkungen die Seele auf einen einzigen Zeitmoment bezieht. Diese Behauptung ist zunächst nur eine folgerechte Ableitung aus der bekannten Thatsache dass wir mit beiden Augen überhaupt nur eine unendlich dünne Schicht des Raumes sehen, diejenige nämlich auf welche der Schnittpunkt beider Sehachsen eingestellt ist. Der empirische Beweiss für dieselbe ist aber leicht zu liefern, wenn man sich die Fähigkeit erworben hat, den stetigen in der Zeit erfolgenden Schwankungen des Convergenzwinkels der Sehachsen einen Zaum anzulegen und zugleich einen Körper zu den Augen in eine Lage bringt, bei welcher die einfache Auffassung der einander naheliegenden Punkte nur geschehen kann mit Hilfe starker Abweichungen in den erwähnten Winkeln. Hält man sich z. B. einen langen schmalen Stab, z. B. ein Bleistift, senkrecht gegen die Angesichtsfläche auf die Nasenwurzel und fixirt einen beliebigen Punkt desselben, so wird man diesen Punkt einfach alle übrigen aber doppelt sehen, so dass der Stab aus zwei gekreuzten zu bestehen scheint. Je nach dem Orte, an welchem man beliebig die Sehachse zum Schneiden bringt, wird man bald das den Augen zu- oder abgewendete Ende einfach sehen.

In diesem Prinzip findet nun Brücke auch den Grund der perspectivischen Wirkung der Stereoscope. Unter diesen letztern versteht man aber Einrichtungen, in welchen man gleichzeitig mit den beiden Augen zwei perspectivische Bilder eines und desselben Körpers betrachtet und zwar so, dass jedes der beiden Augen nur die ihm angehörige perspectivische Zeichnung ansieht. Die Ueberzeugung dass ein Gegenstand, der gleichzeitig mit beiden Augen betrachtet wird für jedes dieser letzteren ein besonderes Bild entwirft und dass wir nur irrthümlich ein einziges zu sehen glauben, wird man sogleich erhalten, wenn man einen beliebigen Körper, z. B. einen abgestutzten Kegel, der Nasenwurzel gegenüber vor beide Augen hält und nun wechselnd das eine und das andere schliesst. Entwirft man sich nun zwei perspektivische Ansichten dieses Kegels, die eine für das rechte, die andere für das linke Auge, so hat man damit zwei der verlangten stereoscopischen Zeichnungen. Die Mittel aber, um diese Zeichnungen in verlangter Weise vor die Augen zu führen, sind sehr mannigfaltige; Wheatstone, der überhaupt zuerst den Gedanken fasste, Bilder von rechter und linker Perspektive zu entwerfen und zu beobachten, wendete das auf S. 251 erwähnte Spiegelstereoskop an; dasselbe leisten zwei Röhren, Prismen u. s. w. —

Wir werden nun einen einfachen Fall stereoskopischer Betrachtung nach der Brücke'schen Erläuterung behandeln. — Wenn wir einen abgestutzten Kegel vor die beiden Augen halten, so dass er ihnen die abgestumpfte Spitze zuwendet, und seine

*) Müllers Archiv. 1841. l. c.

Achse horizontal und senkrecht gegen die Verbindungslinien der beiden Augenmittelpunkte gerichtet ist, dann entwirft er bei einer gewissen Entfernung in den Augen zwei Bilder, etwa wie in Fig. 70, von diesen gehört *R* dem rechten und *L* dem linken an; ihre Stellung zu einander muss die hier gezeichnete sein, wenn sie im Stereoskop als Kegel erscheinen sollen. Bringen wir nun vor jedes Auge eine Röhre (eine Papierrolle) von der Länge mehrerer Zolle Figur 71 *A B*, *A′ B′* und legen an ihr freies Ende die Zeichnungen *L*, *R* in der bezeichneten Stellung, so decken sich beide Figuren sehr bald und erzeugen dann das Bild zweier vor einander schwebender Kreise, von denen der kleinere den Augen beträchtlich näher liegt als der grössere. Da nun die an der Zeichnung zu einander gehörigen Punkte der Körper nicht gleichzeitig auf zugeordnete Netzhautstellen fallen, so kann das einfache Bild aus beiden Figuren nicht durch ein gleichzeitiges Zusammenlegen der verschiedenen Bildpunkte, sondern nur dadurch entstehen, dass die zugeordneten Stellen in zeitlicher Folge über die zugehörigen Bildpunkte geführt werden; indem dieses aber geschieht, müssen sich die Convergenzwinkel der beiden Augenachsen ändern. Denn gesetzt, man wollte von den zu einander gehörigen Punkten der Zeichnungen *I*, *I* zu den *II*, *II* übergehen, und zwar beide Male den Ort mit der beliebigen identischen Stelle, die sich am Schnittpunkt der Sehachse mit der Retina findet, betrachten, so würde bei Betrachtung von *I I* der Convergenzwinkel der Augenachsen *D E F* und für *II*, *II* der Convergenzwinkel *G H J* sein müssen. Da uns nun ein Gegenstand um so näher erscheint, je grösser der Convergenzwinkel, mit dem wir ihn ansehen, so wird da $DEF > GHJ$ der Punkt *I* vor *II* zu schweben scheinen.

Fig. 70.

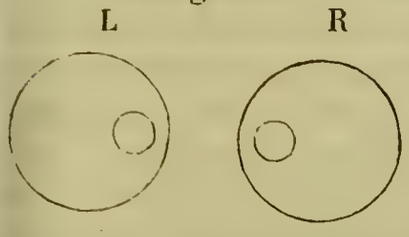
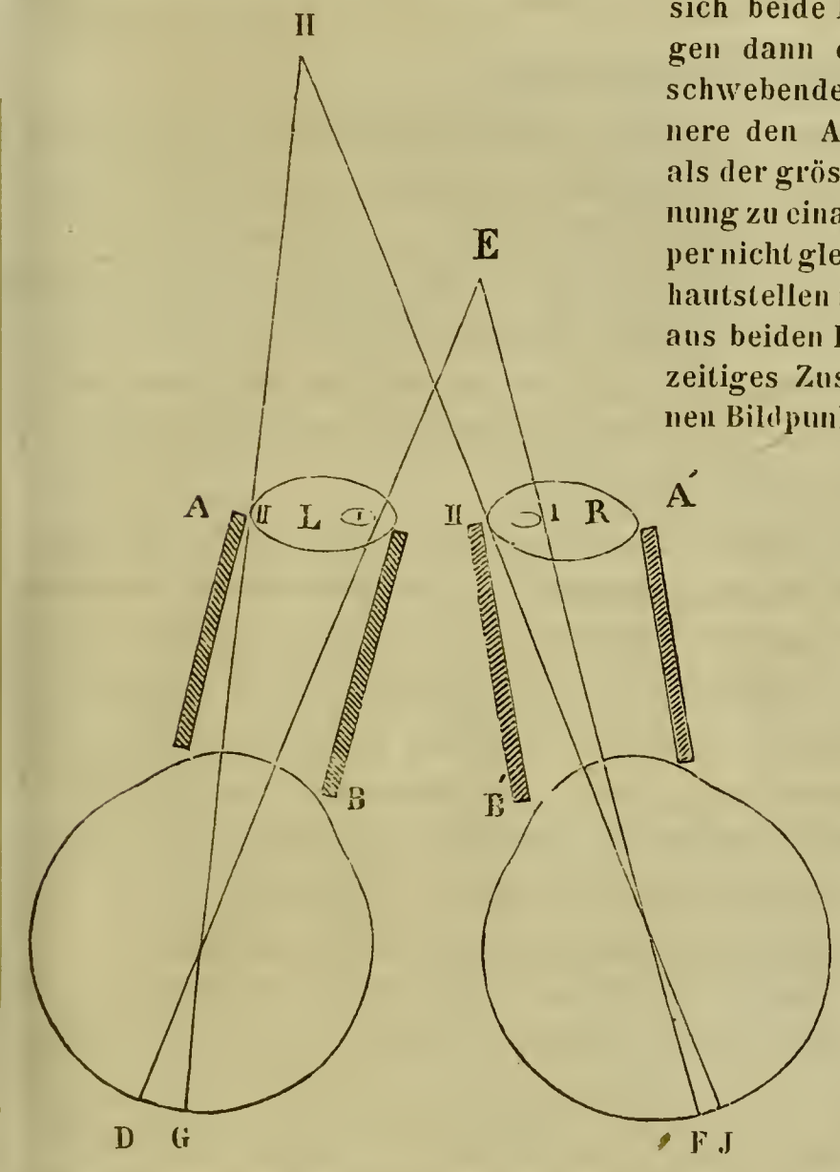


Fig. 71.



Durch welchen Mechanismus nun Lichtstärke, Accommodationsbewegung und Achsenconvergenz das Urtheil bestimmen, ist noch nicht ermittelt; um die Psychologen zu beruhigen, darf man zugeben, dass der aus den drei Elementen resultirende Eindruck noch nicht die Vorstellung der Entfernung ist, es muss aber festgehalten werden, dass sich in der Seele an eine besondere Combination der drei Elemente so gewiss die zugehörige Vorstellung kettet, wie die Waagschale zu Boden sinkt, wenn sie belastet wird. Insofern man die Ausbildung des Vermögens mit dem Vorhandensein des Vermögens überhaupt verwechselte, hat man die sogenannte objektive Natur dieser Phänomene (d. h. ihr Gebundensein an einen in dem Hirn vorgebildeten Mechanismus irgend welcher Art) oft verkannt.

Schliesslich darf die Bemerkung nicht unterlassen werden, dass noch mancherlei andere Grundlagen zur Bildung eines Urtheils über Perspektive vorhanden sein müssen als die gegebenen, was schon daraus hervorgeht 1. dass die entoptischen Gegenstände fast immer in gleicher Entfernung vor dem Auge schweben, wenn auch die Achsenconvergenz und die Accommodation wechselt; 2. dass man nach Dove auch noch in einem Stereoskop eine perspektivische Figur sieht, selbst wenn man die Bilder mit dem nur momentan dauernden elektrischen Funken beleuchtet hat; 3. dass in dem Meyer'schen Versuch wohl die auf den mittleren, aber nicht die auf den seitlichen Theilen der Netzhaut abgebildeten Gegenstände den Ort verändern, und endlich 4. dass eine perspektivische Zeichnung für nur ein Auge ebenfalls körperlich wirkt und zwar sehr auffallend, wenn man sie durch eine Röhre betrachtet.

Bewegung der gesehenen Gegenstände.

Da wir, wie erwiesen, von den Lagenverhältnissen der Retina zum Raum, und der Empfindungsobjekte im Raume unterrichtet sind, so folgt daraus mit Nothwendigkeit, dass wir auch einen Ortswechsel, sei es der Retina zum Raume, oder der Empfindungsobjekte zu einander auffassen. Jeden solchen Wechsel machen wir bekanntlich von einer Bewegung abhängig d. h. wir schreiben ihn einem successiven Fortrücken des in seiner Lage veränderten Gegenstandes vom alten zum neuen Ort in der Retina zu.

Dieses Fortrücken der Bilder auf der Retina geschieht nun entweder so, dass die äusseren Gegenstände mit verschiedenen Punkten ihrer Ausdehnung über dieselben Netzhautpunkte gehen (wenn nämlich die Retina feststeht, während die Aussendinge sich bewegen), oder umgekehrt, es bewegen sich verschiedene Netzhautpunkte über dieselben äusseren Gegenstände (wenn die Retina fortrückt während die Aussendinge fixirt sind). Diese beiden Fälle müssen nach Obigem im Bewusstsein unterschieden werden können, und es fragt sich nur, ob dieses Unterscheidungsvermögen begrenzt oder unbegrenzt ist. Diese Frage ist von der Erfahrung dahin beantwortet, dass wir nicht in allen Fällen in der Anschauung richtig urtheilen, ob die Verschiebung der Bilder auf den Sehnervenfasern von der Bewegung der Retina oder einer Bewegung der Bilder abhängig sei. Diese Beschränkung ist bedingt durch den Umstand, dass nur die Nerven einer gewissen Zahl von Muskelgruppen einen Einfluss auf die Lagenbestimmung unserer Retina in unserer Anschauung gewinnen. Demgemäss halten wir, wenn die Verschiebung der Bilder auf der Retina gleichzeitig mit der Thätigkeit dieser Muskelgruppen eintrifft, die Gegenstände für ruhig, und umgekehrt erscheinen uns die Gegenstände bewegt, wenn die Verschiebung auftritt, ohne dass diese Muskeln in Thätigkeit kommen, und dieses selbst dann noch, wenn uns auch das Bewusstsein sagt, dass die Gegenstände ruhen und wir uns bewegen.

Erfahrungsgemäss erläutern wir die Verschiebung der Bilder auf der Retina aus einer Bewegung dieser letztern, wenn folgende Mus-

keln die Verschiebung des Auges bestimmen: 1) Die Muskeln der Wirbelsäule und des Kopfes; 2) die Muskeln der obern und untern Extremitäten insofern sie zur Bewegung des Rumpfes verwendet werden; 3) die Muskeln des bulbus oculi und 4) die des Accommodationsapparats.

Jedes andere Fortrücken der Bilder auf der Retina schieben wir dagegen im Sehakte selbst auf eine Bewegung der Bilder, mögen in der That es diese oder unsere Augen es sein, welche sich bewegen.

Unter die bekanntesten der fehlerhaften Schlüsse unseres Sehorgans zählt, ausser den scheinbaren Bewegungen der Gegenstände, wenn wir fahren, derjenige, dass die gesehenen Empfindungsobjekte zu wanken scheinen, wenn wir mit der Fingerspitze einen Augapfel verschieben. Ausser diesen Fehlern sehen wir aber mit Rücksicht auf Bewegung noch mannigfaltige andere, welche zum grossen Theil durch das Tastgefühl korrigirt werden können. Dahin gehören unter andern, dass wir einen bewegten Gegenstand für ruhig, dazu vergrössert und in einer ganz besondern Gestalt sehen, wenn derselbe eine wiederkehrende Bahn mit solcher Geschwindigkeit durchläuft, dass sein Nachbild auf den verlassenen Stellen der Retina noch nicht verschwunden ist, wenn der Gegenstand wieder eintritt. Wir glauben ferner den Gegenstand in Bewegung, wenn wir ihn nach Art des Scheiner'schen Versuches durch eine feine Oeffnung im Zerstreuungsbilde sehen, während wir die Oeffnung verschieben. Die Richtung der scheinbaren Bewegung erfolgt im umgekehrten Sinne der wirklichen Verschiebung der Oeffnung, wenn der Gegenstand diesseits der deutlichen Sehweite liegt. Haben wir einen Gegenstand in fehlerhafter Accommodation oder unter fehlerhafter Convergenz der Augenachsen erblickt, so verrückt er sichtbar, so wie wir für seine Entfernung accommodiren oder die Sehachsen auf ihn einschneiden lassen u. s. w.

In wiefern der Begriff der Geschwindigkeit in das Gebiet der physiologischen Untersuchung fällt, ist noch zu ermitteln; dass er hier eine Wurzel habe, kann nicht bestritten werden, weil wir den Grad der Geschwindigkeit geradezu sehen.

4. Glanz. Das Auge unterscheidet noch eine eigenthümliche Beschaffenheit leuchtender Oberflächen, welche die Sprache mit dem Namen des Matten und des Glänzenden bezeichnet. — Die Empfindung des Glanzes wird uns zu Theil, entweder wenn das Licht von einer glatten Oberfläche zurückgeworfen unser Auge trifft, oder wenn wir im Stereoskop die beiden an und für sich matten Zeichnungen desselben Gegenstandes verschieden färben. Dove*).

Dove ist der Meinung, dass diese letztere sehr überraschende Beobachtung überhaupt erläutere, wie das Licht beschaffen sein müsse, wenn es glänzen solle; er glaubt nämlich, dass Glanz dem Auge nichts anders bedeute, als das gleichzeitige Eintreffen verschieden gefärbter Strahlen in das Auge von zwei unmittelbar hintereinander gelegenen Flächen; denn in der That senden die spiegelnden Flächen Licht von ihrer äussersten Grenze und aus der Tiefe ihrer Substanz in das Auge, und eben dasselbe leisten die verschieden gefärbten stereoskopischen Bilder desselben Gegenstandes, die in der Empfindung zu einem einzigen zusammengelegt werden. Dieser Erklärung von Dove fügen sich aber nicht die Erscheinungen der Farbenmischung,

*) Poggendorf, Annalen 83. Bd.

nach der Methode von Helmholtz, indem zwei matte Farben bei ihrer Mischung niemals glänzend werden. — Die Figuren erscheinen im Stereoskop besonders schön glänzend, wenn man eine derselben farbig und die andere schwarz anstreicht.

Schutzwerkzeuge des Auges.

Unter ihnen begreift man Gebilde sehr verschiedener Art und verschiedener Funktion; welche nur darin Uebereinstimmung zeigen, dass sie die in allernächster Beziehung zum Sehen stehenden Theile des Auges vor gewissen schädlichen Einflüssen schützen. Man zählt zu ihnen:

1. Die Sclerotica. — Vermöge ihres festen Gewebes bildet sie eine Capsel, in welchem die zur Accommodation und zur Lichtempfindung dienenden Organe aufbewahrt sind. Die Spannung, welche sie während des Lebens zeigt, und die nach dem Tode rasch verschwindet, verdankt sie wohl zunächst der Anfüllung ihres innern Raumes, soweit er nicht von den Brechungskörpern eingenommen ist, durch die Blutgefässe der Choroidea.

2. Die Augenlider. Dieser gespaltene Deckel schliesst sich mit seiner hintern der vordern Fläche des Auges fast überall genau an, wenn seine freien Ränder aufeinander liegen; in diesem Zustand bleibt einzig an der hinteren Kante der sich berührenden Augenlider wegen der Abstumpfung der Ränder ein kleiner dreiseitiger Kanal, dessen Basis durch Cornea und Sclerotica und dessen geneigte Flächen durch die Augenlider gebildet werden.

Dieser Apparat ist bekanntlich mit einem knorpeligen Skelett, einer Muskulatur, einer Drüsenreihe, die ein Sekret zur Befettung seiner Ränder (Meibom'sche Drüsen) liefert, und einer Behaarung versehen. Das Skelett, tarsus, erhält die schlitzförmige Gestalt der Augenlidspalte aufrecht, so dass bei beträchtlichen Seitenbewegungen des Auges die Cornea noch vom Licht getroffen wird. Die geschlossene Spalte wird eröffnet, indem der m. levator palpebrarum das obere Augenlid vermittelst des tarsus, (wie an einer Vorhangstange) emporhebt, während das untere Lid durch seine Schwere herabfällt. — Die geöffneten Lider werden geschlossen durch den m. orbicularis palpebrarum, der wegen seiner Befestigung am inneren Augenwinkel (am lig. palpebrale internum und Oberkieferknochen) zugleich den Augendeckel etwas nach innen zieht. — Beide Muskeln erhalten aus verschiedenen Bahnen ihre Nerven, m. levator palpebrarum vom n. oculomotorius; m. orbicularis palpebrarum vom n. facialis. — Beide Muskeln finden sich wechselnd im Erregungszustande, so dass das Auge bald geöffnet und geschlossen wird. Der Zeitraum der Schliessung geht gewöhnlich so rasch vorüber, dass die Nachbilder im Sehfeld scheinbar keine Unterbrechung des Lichteintritts zulassen. —

Ausserdem werden die Augenlider reflektorisch geschlossen oder wenigstens ihre Spalte durch den m. orbicularis verengert, wenn ein in-

tensiver Lichteindruck auf die Retina geschieht oder wegen mangelhafter Wirkung des Accommodationsapparates Zerstreuungsbilder auf der Retina auftreten. — Bemerkenswerth erscheint es nach den Untersuchungen von Bell*) dass mit dem Schliessen der Augenlider eine unwillkürliche Bewegung des bulbus nach oben und innen erfolgt. — Die Behaarung der Augenlidränder durch die sogenannten Cilien stellt einen feinen Fühlapparat (Tasthaare) dar, auf deren Berührung das Auge ebenfalls geschlossen wird, um mechanische Insulte zu verhüten.

3. Der Thränenapparat. Aus der Thränendrüse wird unter das obere Augenlid aus mehreren punktförmigen Oeffnungen eine sehr schwach salzige Flüssigkeit entleert, welche sich durch Capillarität und durch den Augenlidschlag über die vordere Fläche des Auges verbreitet, sie stets befeuchtet (wodurch sie die Augenhäute vor Verdunstung schützt und wäscht) und endlich gegen den inneren Augenwinkel in den sog. Thränensee abfliesst. Während des Augenlidschlusses läuft sie nach diesem Raume hin durch den dreieckigen Kanal der Augenlider. Ihr Ueberlaufen über die Augenlidränder wird insofern die Thränen nicht massenhaft abgesondert werden, durch das fettige Sekret der Meibom'schen Drüsen verhindert. Aus dem Thränensee wird die Flüssigkeit durch die capillaren, wegen ihrer steifen Umgebung stets offen erhaltenen Mündungen der Thränenröhrchen aufgesogen und von da durch den Thränenkanal in die Nase geführt, wo schliesslich ihr Wasser in Folge der durch das Athmen eingeführten Luftströme verdunstet. Der Abfluss durch den Thränenkanal geschieht wohl durch Fortkriechen der Flüssigkeit an den benetzbaren abschüssig gelegenen Wandungen.

Anhang. Entoptische Erscheinungen**).

Die brechenden Medien des Auges enthalten Gebilde von verschiedener Durchsichtigkeit; darum beleuchtet ein Lichtbüschel, welcher mit parallelen Strahlen durch dieselben tritt, nicht allerwärts die Retina gleich stark; aus der Stärke und Form der herbeigeführten Verdunkelung kann man natürlich unmittelbar auf die Form und den Grad der Undurchsichtigkeit der verdunkelnden Körper schliessen.

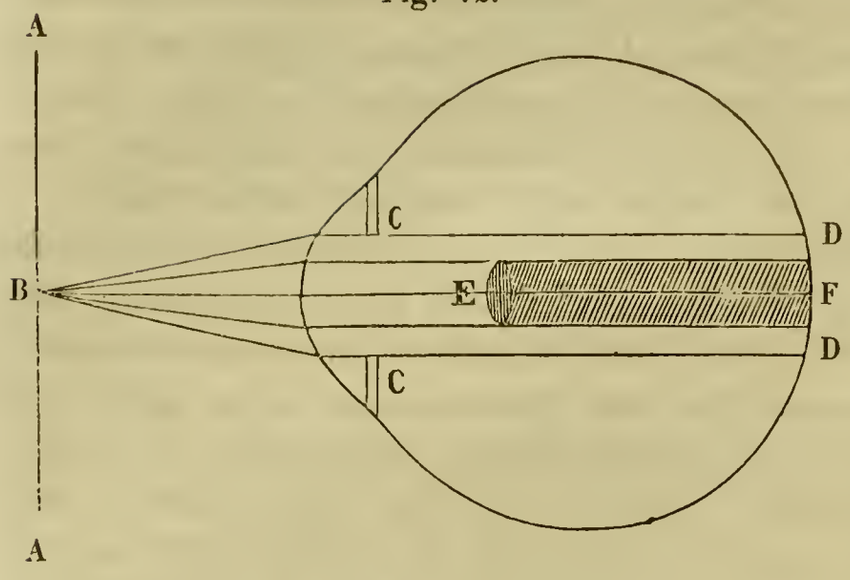
Um diese letztern der Retina sichtbar zu machen, hält man in der vordern Brennebene des Auges einen dunklen Schirm in welchen man eine $\frac{1}{10}$ M. M. im Durchmesser haltende Oeffnung gebohrt hat; durch den hier austretenden Lichtbüschel wird auf der Retina ein Zerstreuungskreis gebildet, welcher der Pupillenöffnung entspricht.

---

*) Bei Tourtual in Müllers Archiv 1838. 323.

**) Listing, Beitrag zur physiologischen Optik. Göttingen 1845. F. C. Donders Beitrag zur Bestimmung des Sitzes der entoptisch wahrnehmbaren Gegenstände im Auge. Archiv für physiol. Heilkunde VIII. 30. ein Auszug aus einer grösseren Abhandlung in Nederlandsch Lancet. II. 558.

Fig. 72.



Die Figur 72 macht das diesem Versuch zu Grunde liegende Prinzip ohne Weiteres klar; es ist in derselben *A A* die Brennebene, *B* der leuchtende Punkt (die Oeffnung des Schirms), *CC* die Pupillenöffnung; *D D* der entsprechende Zerstreuungskreis auf der Retina; *E* ein undurchsichtiger Körper in den brechenden Medien; *F* der ihm entsprechende Schatten auf der Retina.

Die Lage der undurchsichtigen Objekte in den verschiedenen Tiefen des Auges kann man ebenfalls beurtheilen entweder nach der von Listing sog. entoptischen Parallaxe; oder nach Brewster und Donders aus der Entfernung nach der ihre doppelt entworfenen Bilder auseinander weichen, wenn unter verschiedenen Winkeln stehende Lichtquellen parallele Strahlen durch das Auge schicken.

a. Methode von Listing. Wenn wir das Auge *A* Fig. 73. zuerst in eine solche Stellung zur Lichtquelle bringen, dass die Sehachse *A B* dem Gang der Strahlen parallel läuft, so werden sämmtliche auf dem Verlauf der Sehachse etwa gelegenen dunklen Puncte nur einen Schatten werfen; dreht man nun bei unveränderter Stellung der Lichtquelle

Fig. 74.

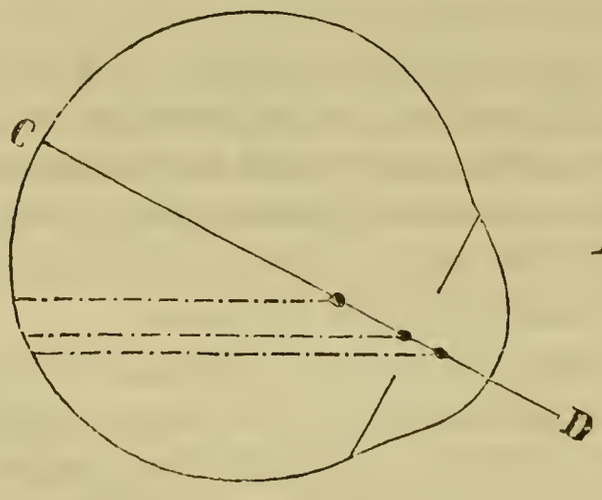
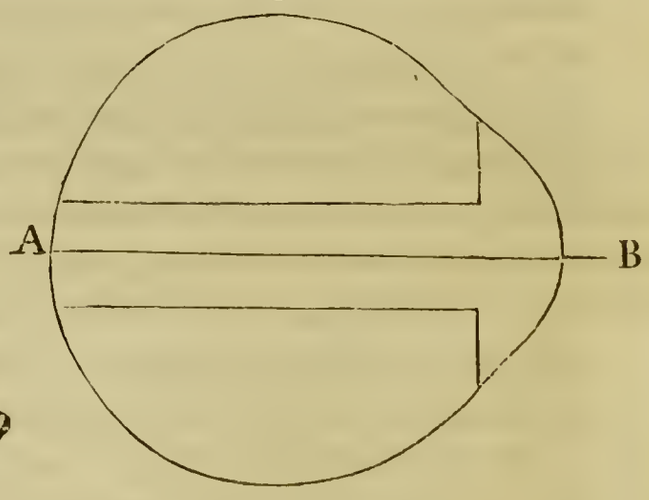


Fig. 73.

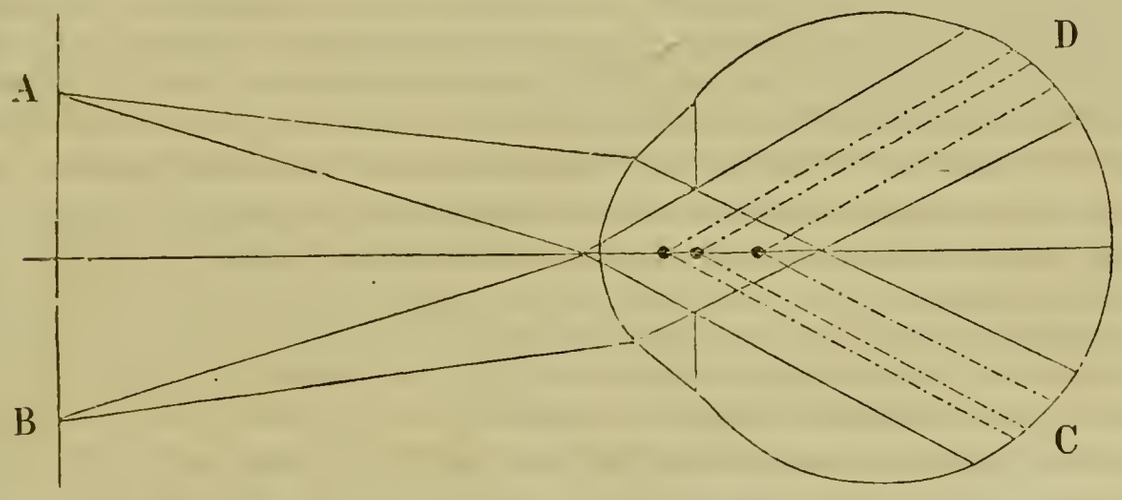


das Auge Fig. 74 so, dass die Sehaxe die Richtung *CD* empfängt, so werden die Schatten der in der Sehaxe gelegenen dunklen Punkte auseinanderfallen und zwar wird der in der Ebene der Pupille gelegene in den Mittelpunkt des Zerstreuungskreises, der vor der Pupille gelegene über, und der hinter der Pupille gelegene unter den Mittelpunkt seinen Schatten werfen. Listing nennt diese von den Bewegungen der Seh-

achse abhängige Lagenveränderung des Schattens eines entoptischen Gegenstandes im Zerstreuungskreis die relative entoptische Parallachse; demnach ist die relative entoptische Parallaxe Null für Objekte in der Ebene der Pupille. — Ueber die Schätzung der Lage im Zerstreuungskreise, und die Berechnung der Lage der Gegenstände in dem Auge aus der Parallaxe siehe Listing l. c. p. 42 u. f.

b. Methode von Brewster und Donders. Setzen wir mit diesen beiden Gelehrten gleichzeitig vor das Auge zwei leuchtende Punkte *A*, *B*, (in Fig. 75) so entwerfen dieselben zwei Zerstreuungskreise *C*, *D* der Pupille auf der Retina; den Mittelpunkt eines jeden derselben nimmt natürlich der Mittelpunkt der Pupille selbst ein; die vor der Pupillenebene gelegenen Gegenstände bilden sich in beiden Kreisen nach aussen von dem Mittelpunkt; alle hinter der Pupille gelegenen Gegenstände nach innen von demselben ab. — Ueber die Berechnung der wahren Lage siehe Donders p. 41.

Fig. 75.



Aus den für die Diagnosen der Augenkrankheiten wichtigen Untersuchungen über wirklich bestehende entoptische Gegenstände hat sich ergeben das Vorkommen:

1) von veränderlichen entoptischen Gegenständen und zwar: a) sog. Mücken, kleine im Glaskörper befindliche, bewegliche meist zellenartige Körperchen. b) Das Spectrum mucolacrymale der Hornhaut (Thränenflüssigkeit, Staub und Schleim auf derselben). c) Falten der Hornhaut nach vorausgegangenem Druck — 2) von beharrlichen und zwar a) Perlflecke; b) dunkle Flecken; c) lichte Streifen; d) dunkle Streifen, welche zum Theil von bestimmten Figuren der Linse herrühren.

E. *Gehör.*

Der Gehörnerv wird auf eine so besondere Weise vom Felsenbein umschlossen, dass er der Einwirkung der grössern Zahl von allgemeinen Nervenerregern ganz entzogen ist. Vorzugsweise zugänglich ist er nur einer spezifischen Art von Erschütterung der ponderabeln Massen, welche unter dem Namen der Schallwellen bekannt ist. Die allgemeinsten Eigenschaften der Schallwellen und die Leitung derselben durch das Gehörorgan zum Nerven werden demnach zu un-

tersuchen sein, bevor wir den durch sie erregten Empfindungen unsere Aufmerksamkeit schenken.

Einleitende Betrachtungen über die dem Schalle zu Grunde liegenden Bewegungen.

Die Diffusionserscheinungen fanden wir nur erklärlich unter der Voraussetzung, dass das, was unseren Sinnen als eine undurchdringliche geschlossene Masse erscheint, eine Zusammenhäufung äusserst kleiner noch durch Zwischenräume voneinander getrennter Theilchen, der Molekeln, sei. Diese Vorstellung von der Anordnung der Massen erhält ihre Bestätigung und ihre noch genauere Bestimmung durch die Thatsachen der Elastizitätslehre. Denn diese erwiessen, dass ganz allgemein einem jedem Molekel innerhalb der Masse, der es angehört, ein bestimmter Ort in einer gemessenen Entfernung von seinen Nachbarmolekeln angewiessen sei und zwar in Folge von den anziehenden und abstossenden Wirkungen, welche durch diese Nachbarn ausgeübt werden. Denn nur durch diese Annahme wird die Thatsache verständlich, dass beides, das allseitige Zusammendrücken und das allseitige Auseinanderzerren einer Masse, Widerstände erzeugt, welche wachsen ebensowohl mit der Abnahme als mit der Zunahme des ursprünglich von der Masse eingenommenen Raumes, oder im Sinne unserer Anschauung ausgedrückt mit der gegenseitigen Näherung oder Entfernung der Molekeln. Indem wir die Thatsachen der Elastizität und namentlich die Press- und Ausdehnbarkeit der verschiedenen Massen nach dieser Richtung hin deuten, lehren sie uns ferner, dass die Abstände der Molekeln, und die absoluten und relativen Werthe der Kräfte, welche den Ort derselben bestimmen weder bei verschiedenen Massen noch jedesmal nach verschiedenen Richtungen innerhalb einer Masse dieselben sind.

Aus allem diesem folgt, die durch die Beobachtung bestätigte Ableitung, dass sich die einzelnen Stücke einer scheinbar zusammenhängenden Masse unabhängig von einander müssen bewegen können; diese Beweglichkeit der einzelnen Theile einer Masse gegeneinander, oder schärfer ausgedrückt, der Spielraum und die Richtung, in welcher die Verschiebung der Molekeln möglich und die Kräfte, welche zu derselben nöthig sind, muss den Elastizitätserscheinungen entsprechend mit der Natur der Masse sehr wechseln; diese Mannigfaltigkeit der Erscheinung liegt aber offenbar zwischen zwei Grenzfällen eingeschlossen. Denen nämlich, dass entweder die einer Masse zugehörigen Theilchen sich an einander verschieben, ohne sich zu nähern, oder dass sich die Theilchen, ohne ihre Lagenrichtung gegeneinander zu ändern einander nähern oder sich von einander entfernen. In dem erstern dieser Fälle, der vorzugsweise den sog. nicht zusammendrückbaren Körpern angehört, werden die Bewegungen der einzelnen Stücke einer Masse zu Formveränderungen der Grenzen dieses letztern führen, wie dieses z. B. am Wasser sichtbar ist, während die zweite Art von Bewegung Verdichtungen und Verdünnungen der Masse erzeugt, wobei die sichtbare Grenze der Masse möglicher Weise vollkommen unverändert sich erhalten kann.

Ueber diese Bewegungen, welche unter gewissen Voraussetzungen die schallerzeugenden sind, lassen sich noch einige Mittheilungen machen, welche zum Verständniss der Leistungen der Gehörwerkzeuge nicht ohne Bedeutung sein dürften. — 1) Jede Bewegung, welche einem beschränkten Stücke einer zusammenhängenden Masse unabhängig von den ihm benachbarten mitgetheilt wird, erhält bei mehr als momentan, dauerndem Bestehen eine ab- oder zunehmende, eine ungleichförmige, niemals eine gleichförmige Geschwindigkeit. Die Allgemeingiltigkeit dieser Behauptung ist sogleich einleuchtend, wenn man erwägt, dass jedes innerhalb der Masse sich bewegende Theilchen auf seinem Wege von den Nachbarn entweder gehemmt oder unterstützt wird. Gehemmt aber muss es werden, wenn es sich über die Grenzen des Normalabstandes von einem Theil seiner Nachbarn zu entfernen und einem andern Theil derselben zu nähern sucht. Beschleunigt dagegen,

wenn es durch eine stossende Gewalt aus seiner normalen Lage entfernt in diese zurückzukehren strebt, wobei es sowohl im gleichen Sinne von den Theilen, denen es sich allzusehr genähert, abgestossen, als auch von denen angezogen wird, von welchen es sich allzusehr entfernt hatte. 2) die Zeit, welche ein Theilchen nöthig haben wird, um eine solche Phase der Bewegung zu vollenden, d. h. um von einem gewissen Maximum der Geschwindigkeit auf diejenige von Null zu gelangen, wird ganz allgemein betrachtet, abhängig sein von der Zeitdauer des Stosses, welcher das Molekel aus seiner Lage zu entfernen strebt, und von der Stärke der zwischen den Molekeln bestehenden Anziehung und Abstossung, oder wie man sich auch ausdrückt, dem Grade der Spannung, welcher in der Masse vorhanden ist. Denn offenbar wird, alles andere gleichgesetzt, ein Molekel um so länger auf seiner Bahn verharren, je allmäliger und andauernder der Stoss wirkt, welcher dasselbe aus seiner Normallage entfernt, und umgekehrt wird, alles andere gleichgesetzt, die Bewegung, welche ein momentan wirkender Stoss einem Molekel mittheilt, um so rascher vollendet sein, je energischer der Widerstand ist, den die umgebenden Molekeln, dem Gang der ursprünglich bewegten entgegensetzen, oder je grösser die Gewalt ist, mit der sie das aus seiner ursprünglichen Lage entfernte Molekel wieder in dieselbe zurückzuziehen streben. Ausserdem dürfte auch das, was wir Spannung nennen, insofern bestimmend für die Zeit wirken, während welcher ein Molekel eine Phase seiner Bewegung vollendet, als von ihr auch die Ausdehnung des Weges abhängt, den ein Theil der Masse unabhängig von seinem Nachbar durchlaufen kann. — 3) Die Bewegung, welche in einem beschränkten Stücke einer zusammenhängenden Masse eingeleitet wird, muss sich allmälig auch auf die benachbarten Stücke übertragen. Dieses ergibt sich mit Nothwendigkeit daraus, weil jedes von seinem Orte innerhalb der Masse bewegte Molekel, seine Nachbarn entweder stossen oder ziehen muss, wodurch es unmittelbar einen Theil seiner bewegenden Kräfte an dieselben abgibt. Bei dieser Mittheilung von Bewegung kommt in Betracht die Uebertragung resp. Vertheilung der Kräfte, die Geschwindigkeit und die Richtung der Mittheilung. — Rücksichtlich der Kraft der Uebertragung gilt hier, wie überall, die Regel, dass das Produkt aus Geschwindigkeit und Masse immer erhalten*) bleiben muss, so dass, wenn die Schwingung von einer geringern auf eine grössere Zahl von Molekeln übergeht, die Schwingungsintensität jedes einzelnen vermindert wird. Aus dieser Regel und der andern vorher erwähnten, dass die Bewegung des einzelnen Molekels eine steigende und bis auf Null fallende ist, folgt aber, dass sich die Bewegung in zeitlicher Reihenfolge durch die ganze Masse verbreiten muss. — Die Mittheilungsgeschwindigkeit d. h die Zeit, welche nothwendig ist, damit die Bewegung von einem Theilchen auf ein anderes übertrete, muss nun nach allem vorhergehenden abhängig gedacht werden von dem Werthe der beschleunigenden Kräfte, unter deren Einfluss die einzelnen Theilchen schwingen, und der Art der Verknüpfung dieser letztern und namentlich von der Elastizität oder anders ausgedrückt von der Grösse des Spielraums, welcher jedem einzelnen Theilchen für seine selbstständigen Bewegungen zukommt. — Diesen an und für sich selbstverständlichen Betrachtungen entgegen, lehrt nun die Erfahrung, dass nur in einer beschränkten Zahl von Fällen z. B. bei den fortschreitenden Bewegungen im Wasser mit freier Oberfläche, bei den Beugungswellen, u. s. w. beide der angegebenen Elemente von Einfluss sind, während in andern z. B. bei der Fortpflanzung der Verdichtungswellen des Wassers u. s. w. die Schwingungsintensität des einzelnen Theilchens einzig und allein von dem Werthe der Elastizität abhängt. Diese Erfahrung scheint dahin gedeutet werden zu müssen, dass in diesen letztern Fällen der Zusammenhang der einzelnen Theilchen in der Masse sich als ein so inniger ausweisst, dass auch bei einer schon verschwindend

*) Begreiflich bleibt aber innerhalb einer begrenzten Masse dieses Produkt nur so lange unverändert als dieselbe keine bewegenden Kräfte jenseits ihrer Grenzen abgibt.

kleinen Ortsveränderung eines Theilchens die benachbarten mit in die Bewegung gezogen werden, eine Ortsveränderung, welche schon nach einer verschwindend kleinen Zeit erreicht wird. — Die Richtung der Mittheilung anlangend, so muss entsprechend der allseitig gleichen oder ungleichen Elastizität die Bewegungsmittheilung innerhalb der Masse entweder nach allen Seiten hin mit gleicher Geschwindigkeit und Kraft vor sich gehen oder nach einzelnen Richtungen vorzugsweise stark und schnell geschehen. — 4) Wenn nun, wie es häufig vorkommt, die Schwingungsdauer eines Theilchens länger anhält, als die Zeit, welche nothwendig ist, damit sich die Bewegung von ihm auf seine Nachbarn mittheile, so folgt daraus, dass bei räumlich noch so beschränktem Anstoss einer Masse doch bald ein grösserer Abschnitt derselben gleichzeitig in Bewegung treten wird. Da aber die Bewegung der Theilchen, welche auf einen momentan wirkenden Stoss folgt, immer eine schwingende ist, welche mit abnehmender und dann steigender Geschwindigkeit das Theilchen von seiner ursprünglichen Lagerungsstätte entfernt und dasselbe wieder dahin zurückführt, so müssen auch gleichzeitig immer eine Zahl von Theilchen nach einer Richtung schwingen. — Belegt man eine solche hin- und hergehende Schwingung mit dem Namen der Wellenbewegung, und nennt man insbesondere die eine Wegrichtung die aufsteigende oder positive und die andere die absteigende oder negative, so kann man den obigen Satz auch dahin ausdrücken, dass an einer und derselben Wellenbewegung gleichzeitig viele Molekeln Antheil nehmen. Mit Hilfe der schon entwickelten Grundsätze wird es nun anzugeben sein, wovon die Zahl der nach einer Richtung schwingenden Theile, oder die Wellenlänge abhängig sein muss; denn offenbar wird sie wachsen mit der Zeit, welche das erste und somit jedes folgende Theilchen zur Vollendung seiner Schwingung nöthig hat, und mit der Mittheilungsgeschwindigkeit, welche der Masse, innerhalb deren die Bewegung statt fand, zukommt. — 5) Bis dahin wurde vorausgesetzt, dass die Fortleitung der Bewegung durch eine homogene Masse geschehe; die Erscheinungen gestalten sich nun aber anders, wenn eine Bewegung zwischen heterogenen Massen übertragen werden soll. Hier, an den Grenzen der Massen treten nämlich andere Bedingungen ein, insofern als nun die stossenden und gestossenen Molekeln keine Cohäsionswirkungen aufeinander üben, und insofern als der Stoss sich zwischen Molekelreihen mittheilt deren einzelne Glieder weder im gleichen Abstand von einander stehen, noch durch gleiche Kräfte an ihren Lagerungsstätten erhalten werden. Denn es kann, wie schon erwähnt, vom mechanischen Gesichtspunkte aus, der hier allein in Betracht kommt, das Eigenthümliche, das Bestimmende der Massen, nur in dem Unterschiede, ihrer Dichtigkeit und ihrer Elastizität, oder mit andern Worten in den Differenzen der Molekelabstände und der anziehenden und abstossenden Kräfte gesucht werden. Die Folgen dieser veränderten Bedingungen sind nun ungefähr folgende: a) Innerhalb der homogenen Masse verbreitete sich die Schwingung von Molekel zu Molekel in der Art, dass bei der fortschreitenden Bewegung das der Zeit nach zuerst schwingende allmälig zur Ruhe kommt, während andere in die Bewegung eintraten, mit andern Worten, es hatte ein Molekel nach Vollendung seiner Schwingung seine ganze lebendige Kraft an die Nachbarn abgegeben. Bei der Fortleitung des Stosses zwischen den Molekeln heterogener Massen geschieht dieses nun nicht. Die Grenze der heterogenen Masse überschreitet nur ein Theil der bewegenden Kräfte, während ein anderer Theil derselben in der stossenden Masse zurückbleibt, so dass nun gleichzeitig beide Massen an der Bewegung sich betheiligen. Diese Thatsache spricht man gewöhnlich entweder so aus: es setze sich dem Uebergang der Kräfte über die Grenzen heterogener Massen ein Widerstand entgegen, oder, wenn man sich im Ausdruck an die Erscheinung enger anschliessen will, auch so, dass die Schwingung an der Grenze heterogener Massen zurückgeworfen werde. Dieser letztere Ausdruck fusst bekanntlich darauf, dass die Bewegung, welche schwingend zur Grenze des ersten Mittels hinlief und dann nur theilweise in das neue Mittel eintrat, von

dieser Grenze auch wieder gegen die ursprünglich bewegte Masse zurücktritt, und so in verkehrter Richtung noch einmal die Bahn durchzieht, die sie schon einmal in gerader Richtung durchwandert hatte *). Der innere Zusammenhang dieser Erscheinung, dass sich die Bewegung schwieriger zwischen den Molekeln heterogener als denen homogener Massen mittheilt, leitet sich nun aus den obigen Voraussetzungen in jedem einzelnen Falle leicht ab. Nehmen wir z. B. an, die Molekeln der einen Masse seien sehr beweglich gegen einander, während die einer andern als nahebei feststehend anzusehen wären, so würden, wenn die Molekeln der letztern Masse auf die der erstern stiessen, sich schon bei Beginn des Stosses die leicht beweglichen von den unbeweglichen entfernen, so dass nach einem Verfluss einer sehr kurzen Zeit gar keine Berührung und somit auch keine Stossmittheilung mehr statt fände. Ereignete es sich dagegen, dass die beweglichen Molekeln schwingend auf die unbeweglichen träfen, so müsste, da die letztern nicht ausweichen könnten, sehr bald an der Grenze eine Spannung entstehen, die sich so lange steigern würde, als die Kraft, welche die Geschwindigkeit der beweglichen Molekeln in der Richtung gegen die unbeweglichen erzeugt gleich wäre der gerade vorhandenen Spannung. Von diesem Augenblick an wird die Spannung, welche nach beiden Seiten hin treibend wirkt, die beweglichen Molekeln wieder von der Grenze zurück schleudern; mit einem Worte, es werden sich die letzten Molekeln verhalten wie ein elastischer Ball, der auf einen festen Boden geworfen wird. — Hieraus dürfte nun klar sein, dass die Summen lebendiger Kräfte, welche bei jeder Schwingung das Molekel an den heterogenen Nachbar abgibt, Schwingungsintensität und Berührungsfläche gleichgesetzt, wachsen wird, mit der steigenden Uebereinstimmung in der Dichtigkeit und Elastizität der in Berührung befindlichen Stoffe. — b) Der Anstoss, welchen die schwingenden Molekeln des einen denen des andern Stoffes mittheilen, unterscheidet sich seinen Folgen nach im wesentlichen durchaus nicht von jeder andern schwingungserzeugenden Bewegungsanregung. Daraus ergibt sich in Uebereinstimmung mit den früher geführten Betrachtungen, dass die Art der Schwingung im zweiten Mittel (Beugung oder Verdichtung) ganz unabhängig von derjenigen im ersten ist, ferner dass unter den früher bezeichneten Bedingungen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im neuen Mittel unabhängig vom Stosse ist, indem sie nur bedingt wird von der Verkettung der Molekeln des zweiten Stoffes; ferner dass die Schwingungsdauer des angestossenen Molekels abhängig ist von der Dauer des Stosses und der Verkettung der Molekeln der angestossenen Stoffe, und endlich, dass die Wellenlänge von dieser Schwingungsdauer und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit bestimmt wird.

Schallleitung zum Gehörnerven.

Da die empfindungerregenden Zustände des Gehörnerven nur durch die denselben zunächst berührenden Theile der Gehörwerkzeuge ausgelöst werden können, so hat die Untersuchung über das Entsprechen der Schallbewegung und der Empfindung zunächst die Aufgabe die Veränderungen zu studiren, welche die Schallbewegung in den Hüllen des Gehörnerven (das Wort Hüllen im weitesten Sinne genommen) erweckt. — Zu dem Hörnerven oder zu dessen nächster Umgebung dringt nun die im Weltenraum erzeugte Schallbewegung auf zwei Wegen: durch die Kopfknochen im Allgemeinen und dann durch die Paukenhöhle. — Auf beiden Wegen muss die Schallwelle besonders verfolgt werden.

*) Die Thatsache der Reflexion bedarf keiner besonderen Erläuterung mehr, wenn einmal feststeht, dass die Grenzpartikel nicht ihre ganze Kraft an die neue Masse abgibt; offenbar wird dann nämlich das schwingende Endtheilchen seine Bewegungen auf die homogenen Nachbarn übertragen, u. s. w.

Die Aufgabe der physiologischen Akustik würde als gelöst anzusehen sein, wenn man das Gesetz und den absoluten Werth der Schwingung des schallenden Theilchens vor dem Eintritt in das Trommelfell, beziehungsweise in die Kopfknochen und nach seinem Uebergang in die Gehörsäckchen und die Spiralplatte der Schnecke kennte; diese Thatsachen können aber erst erworben werden, wenn für die Schallwelle ein objektives Mass gefunden ist. — Die besondere Art des Ueberganges durch die einzelnen Theile des schallleitenden Apparates, d. h. die Veränderung der Form und Stärke der Schallwelle, wie sie durch jeden Bestandtheil herbeigeführt wird, könnte dann z. B. dadurch aufgefunden werden, dass man an einem todten Ohr oder Ohrmodell den Uebergang untersuchte, nachdem man mit möglichster Erhaltung der übrigen Theile der Reihe nach Stück für Stück des leitenden Apparates entfernt hätte. Diesen geraden Weg hat man noch nicht eingeschlagen; es hätte ihn zudem nur ein genialer Physiker betreten können. Um nun doch etwas zu thun, hat man sich einer andern, freilich sehr ungenauen Methode bedient. Auf die Grösse und Form der Schallwelle vor ihrem Eintritt in das Ohr schliesst man (was aber nur in seltenen Fällen mit einiger Sicherheit möglich) aus dem Modus und der Stärke des Anstosses, welcher im schallenden Körper die Schwingung veranlasst. Auf die Art und Stärke der übergegangenen Welle erlaubt man sich nun gar zu schliessen aus der Tonempfindung, ein Verfahren, welches sehr unzuverlässig erscheint, wenn man überlegt, dass der Schall gar nicht als Bewegung empfunden wird; es würde gerade so genau sein, wenn man so ohne Weiteres aus der bei der Reibung zweier Körper auftretenden Wärme oder Elektrizität auf die Grösse der reibenden Kräfte schliessen wollte. — Den Antheil, welchen die einzelnen Stücke des schallleitenden Apparates an dem Uebergang nehmen, beurtheilt man aus Erscheinungen, welche an physikalischen Apparaten beobachtet sind, die häufig genug eine nur gar zu entfernte Aehnlichkeit mit den Gehörwerkzeugen bieten.

Demgemäss darf man in Folgendem nur sehr allgemein gehaltene, meist unsichere Hypothesen erwarten. Mit dem Tod unseres ausgezeichneten A. Seebeck ist vorerst wieder ein grosser Theil der Hoffnungen verloren gegangen, in der nächstgelegenen Zeit zu wesentlichen Aufschlüssen zu gelangen.

A. Schallleitung durch die Paukenhöhle. —

Die Betrachtung gliedert sich hier naturgemäss der Art, dass sie die Aufnahme und Veränderung der Schallwellen in der Ohrmuschel, in dem äussern Gehörgang, in dem Paukenfell und den Gehörknöchelchen in der membran. fenestr. ovalis und endlich in dem Labyrinthwasser und den Verbreitungsbezirken der Gehörnerven untersucht.

Wir setzen hier zugleich ein und für alle mal den am gewöhnlichsten eintretenden Fall voraus, dass die Schallwelle aus der Luft in das Gehörorgan dringt.

1. Ohrmuschel*). Ueber ihre Funktionen als schallleitendes Organ gehen folgende Vermuthungen. a) die Schallwellen der Luft gehen zum geringsten Theil in ihre Substanz ein; sie werden reflektirt und namentlich werden die in die Concha fallenden Wellen gegen den Tragus und von diesem in den Gehörgang geworfen. Diese Hypothese gründet sich auf die Gestaltung des äusseren Ohres und auf die Thatsache, dass durch eine Veränderung des Neigungswinkels der Ohrmuschel gegen den Kopf (resp. den Gehörgang) die Schärfe des Gehörs

*) Esser, Annales des sciences naturelles. F. XXVI. 1832. Valentin, Physiologie II. Bd. 243.

gemindert oder vermehrt werden kann. Nach Buchanan soll ein Neigungswinkel von 25° bis 45° gegen die pars mastoidea am günstigsten wirken. So unbestreitbar es ist, dass die in die Concha dringenden Wellen je nach ihrer Richtung mehr oder weniger gegen den Tragus und von diesem in den meatus auditorius fallen, und damit die Schallbewegung im meatus verstärken; so unzweifelhaft ist es auch, dass eine reichliche Masse der auf die ganze Muschel treffenden Wellenzüge niemals durch Reflexion in den Gehörgang eindringt; Esser. — b) Aus diesem Grunde und zugleich wegen der Dünne und der Elastizität des äussern Ohres vermuthet Savart, dass die Wellen in seine Substanz eindringen und von allen Seiten gegen die schmale Wurzel zusammentreffen. Von der Wurzel der Ohrmuschel sollen sie sich theilweise durch den Kopf zerstreuen, zum Theil sollen sie aber in den knöchernen Gehörgang und das sich hier anheftende Trommelfell übergehn. Unter diesem Gesichtspunkte erhalten die vielfachen Unebenheiten des äussern Ohrs eine besondere Bedeutung, indem sie an demselben für alle Richtungen der Schallwellen Flächen erzielen, welche zur Ohrmuschel senkrecht stehen, d. h. den günstigsten Einfallswinkel bieten.

Die Funktionen des äusseren Ohres für die Leitung der Schallwellen sind möglicher Weise viel mannigfaltigere, als die hier angegebenen; doch sind sie schwerlich von fundamentaler Wichtigkeit für das Hören, wie aus mehrfachen medizinischen Erfahrungen hervorgeht, da ein Verlust des äusseren Ohres das Hören nicht wesentlich beeinträchtigt. —

Man bezeichnet das äussere Ohr auch sehr häufig als einen Resonanzapparat. Nun gibt es bekanntlich (Wellenlehre der Gebrüder Weber p. 530) zwei Arten von Resonanz; eine derselben bewirkt nur eine vollkommenere Mittheilung der tönenden Schwingung eines Mittels an ein anderes spezifisch verschiedenes; die andere dagegen besteht in einer Summirung einer Reihe von Stössen in ein Medium, die es der Zeit nach gesondert empfing, so dass die Theile desselben stärker bewegt werden, als es durch jeden besondern einzelnen Stoss der ursprünglich tönenden Masse möglich war. Danach sieht man nun ein, dass wenn man das Ohr eine Vorrichtung zum Resonniren nennt, dieses entweder nichts anders bedeutet, als das was schon im Text erörtert wurde, oder dass man die ganz willkürliche Unterstellung macht, es werde von den Grenzen der Muschel die Schallwelle immer so zurückgeworfen, dass die neu eindringenden immer noch einen Rest sie unterstützender Bewegung vorfinden.

2. Trommelfell. An diesem Ort gelangt die Schallbewegung aus einem luftigen in einen festen Körper; innerhalb des neuen Mediums schreitet die Welle nicht in der Form und auch nicht mit der lebendigen Kraft fort, welche ihr in der Luft eigenthümlich war.

a. Form der Welle des Trommelfells *). Die in der Luft als Verdichtungswelle fortschreitende Schallbewegung wird beim Uebergang in das Trommelfell wesentlich Beugungswelle werden müssen; Ed. We-

*) Ed. Weber, Berichte der Leipziger Gesellsch. der Wissenschaften. Mathem. phys. Klasse 1851. p. 29. —

ber. Der Beweis für diese Behauptung liegt darin, dass sich alle Membranen in der bezeichneten Weise verhalten, wenn sie ähnlich wie das Trommelfell der in der Luft fortschreitenden Schallbewegung entgegengesetzt werden. Die theoretische Nothwendigkeit dieser Erscheinung ist dadurch gegeben, dass bei einer Befestigung, wie sie dem Trommelfelle angehört, die gegen das Centrum gelegenen Theile eine grössere Beweglichkeit besitzen als die unmittelbar am Rande gelegenen.

b. Lebendige Kraft der Mitschwingung des Trommelfells *). — Die lebendigen Kräfte des ursprünglichen, in der Luft vorhandenen Schalles und diejenigen des mitschwingenden Trommelfells beurtheilen wir einerseits nach dem zur Erzeugung des Tons verwendeten Kraftaufwand und anderseits nach der Stärke der Empfindung. Die aus dieser Schätzung gezogenen Vergleiche müssen mangelhaft genug sein, da abgesehen von allen früher gemachten Ausstellungen an dem Verfahren die Empfindungswerkzeuge als Messinstrumente zu benutzen, hier noch der besondere Umstand hinzu kommt, dass das Trommelfell nicht das einzige schallleitende Stück zwischen Luft und Nerv darstellt; die Gehörknöchelchen, das Wasser und die Häute des Labyrinths könnten noch wesentliche Veränderungen an den Gegenständen der Empfindung, d. h. an der Stärke der fortschreitenden Schwingung erzeugen. Diese Bedenken würden es verbieten, auf Grund der angeführten Methoden irgend etwas besonderes auszusagen über die Kräfte der Schallschwingung im Trommelfell, wenn wir es nicht möglich zu machen wüssten, den Spannungsgrad des Trommelfells unabhängig von einer Veränderung der übrigen schallleitenden Vorrichtungen zu steigern, so dass wenigstens der Einfluss einer verschiedenen Spannung des Trommelfells mit einiger Sicherheit ermittelbar wird; ausserdem darf aber natürlich behauptet werden, dass das was wir vom Luftton hören durch das Trommelfell gegangen sei. — Nach allbekannten Erfahrungen werden im gewöhnlichen Zustand des Ohres, in dem wir dem Trommelfell eine mittlere Spannung zuschreiben, auch noch durch Schallschwingungen, den ausserordentlich geringen Kräften, Empfindungen erregt; ausserdem unterscheiden wir an den Tönen verschiedenartigster Höhe durch das Gehör die relative Stärke mit der sie erzeugt worden sind. Hieraus schliessen wir, dass der gesammte schallleitende Apparat und somit auch das Trommelfell geeignet sei durch schwache Luftschwingung zur Mitbewegung erregt zu werden und ferner, dass dasselbe proportional den lebendigen Kräften der Töne von der allerverschiedensten Höhe mitschwinge. Diese letztere Fähigkeit der Gehörwerkzeuge ist jedoch selbst bei der normalen mittleren Spannung des Trommel-

*) Savart sur les usages du tympan. Ann. d. chimie XXVI. Bd. — Seebeck in Repertor. d. Physik v. Dove VIII. Bd. Akustik p. 60 u. 103. — Gehler, physikal. Wörterbuch IV. Bd. 1208. u. 1268.

fells keine unbeschränkte, indem wir nachweislich sehr tiefe Töne von einer ausserordentlichen objektiven Stärke doch nur als sehr schwache vernehmen, während wir umgekehrt hohe Töne von objectiver Schwäche als sehr starke hören. Sollten diese Unterschiede der Hörbarkeit hoher und tiefer Töne nicht von dem Gehörnerven, sondern von dem schallleitenden Apparat und insbesondere vom Trommelfell abhängig sein, so würde es bedeuten, dass das letztere für höhere Töne leichter als für tiefe mitschwingt. — Die Fähigkeit des Trommelfells, die Schallbewegungen ihrer Stärke entsprechend in sich eingehen zu lassen, erfährt dagegen nachweislich eine wesentliche Beeinträchtigung, wenn es aus seiner normalen Spannung in eine höhere versetzt wird; geschieht dieses ohne gleichzeitige anderweitige Veränderung des Ohrs, so verlieren wir entweder die Empfindlichkeit für eine grosse Reihe tiefer Töne vollkommen, oder wir werden wenigstens unempfänglicher für dieselben, so dass tiefe Töne von sehr beträchtlicher objektiver Stärke nur sehr schwache Empfindungen erzeugen, während wir umgekehrt schwache hohe Töne stärker als gewöhnlich hören; J. Müller. — Nach Beobachtungen von Wollaston soll auch die umgekehrte Erscheinung eintreten, die nämlich dass in gewissen Spannungsgraden das Trommelfell seine Fähigkeit einbüsst, durch hohe Töne in Schwingung zu kommen. — Da die Empfindung des Schalls momentan mit dem objektiven Ende desselben verschwindet, so schliessen wir daraus, dass das Trommelfell nicht in Nachschwingungen gerathe, welche noch andauern, wenn auch die anstossende Gewalt ihre Einwirkungen eingestellt hat.

Im Allgemeinen gehen die Schallschwingungen aus der Luft dann am leichtesten in feste Körper über, wenn diese eine membranförmige Gestalt besitzen; dieses erklärt sich daraus, dass in dieser Form der feste Körper der schwingenden Luft eine grosse Fläche bietet, deren Molekeln wie bei allen festen Körpern verdichtet und welche zugleich wegen ihres geringen Widerstandes im Ganzen gebeugt werden kann. Ist die Bewegung einmal in die Membran übergegangen, so wird sie von hier aus nun leicht auch auf feste Stoffe von beliebiger Gestalt, die mit ihr in Berührung sind, übergeführt werden, so dass die Membranen vorzugsweise als Schallvermittler zwischen Luft und festen Körpern angesehen werden können; Savart. Obwohl nun aber allerdings die Schallwellen leichter in eine Membran als in einen Stab, Saite u. s. w. dringen, so geht doch nicht jede Art von Schallbewegung gleich leicht in dieselbe ein; diese Bemerkung gilt namentlich für die tönende Schallbewegung, d. h. für diejenigen Schwingungen, welche in raschen und regelmässig auf einander folgenden Zeiten wiederkehren. Für die Aufnahme der Tonschwingungen in Membranen stehen erfahrungsgemäss die Regeln fest, dass die Töne am vollkommensten eindringen, deren Schwingungszahlen entweder gerade übereinstimmen mit denjenigen des Eigentons der Membran, d. h. mit demjenigen, den diese für sich angeschlagen gibt, oder die wenigstens in einem einfachen Verhältniss zu dem Eigenton stehen. Von allen übrigen Tönen werden wiederum diejenigen am leichtesten aufgenommen, deren Schwingungszahl nicht allzuweit von der des Eigentons der Membran absteht, und unter diesen die höhern besser als die tiefern. Mit diesem Verhalten der Membran steht es in Einklang, dass das Trommelfell bei stärkerer Spannung, wo es einen hohen Eigenton gibt, den tieferen Tönen den Durchgang verwehrt; unbegreiflich er-

scheint es dagegen, dass überhaupt einer so grossen Tonreihe der Durchgang gestattet ist. Denn unter allen Umständen müsste eine so kleine Membran von einem so hohen Eigenton schon nicht mehr in merklicher Weise mit so tiefen Tönen als es in der That geschieht, mitschwingen, oder mindestens durch einen tiefen Ton in sehr viel schwächere Bewegung gesetzt werden, als durch die gleichstarke Schwingung eines hohen Tones. A. Seebeck hat diesen Widerspruch zu lösen versucht. Nach einer von ihm angestellten Betrachtung ist die lebendige Kraft der Mitschwingung, vorausgesetzt, dass man die des erregenden Tons = 1 annimmt, auszudrücken durch einen Bruch, in welchen neben den Schwingungszahlen des erregenden Tons und des Eigentons der Membran auch noch die Widerstände vorkommen, welche die Mittel der Mitschwingung entgegensetzen, die die Membran hinten und vorn umgeben. Namentlich aber stellt der Nenner dieses Bruchs eine Summe dar, die aus zwei Gliedern gebildet ist; im ersten derselben kommt u. a. wesentlich die Differenz der erwähnten Schwingungszahlen vor, im letzten von beiden aber der Widerstand des Mittels an den die mitschwingende Membran ihre Bewegung übertragen soll. Daraus geht hervor, dass wenn das letzte der additiven Glieder des Nenners, d. h. der Widerstand des zweiten Mittels sehr gross wird, so wird die Mitschwingung zwar eine sehr geringe, aber es verliert zugleich das erste Glied des Nenners wesentlich an seiner Bedeutung, und somit wird die Stärke der Mitschwingung unabhängig von der Tonhöhe. In der That ist nun an das Trommelfell der Hammer gefügt, der selbst wieder durch Ambos und Steigbügel gegen das Wasser des Labyrinthes andrückt, so dass immer das Trommelfell mit diesen Theilen zugleich schwingen muss; hierdurch wird also ein von der Spannung des Trommelfells unabhängiger Schwingungswiderstand erzeugt, und somit der Grund gegeben für die Erscheinung, dass die Membran von einem hohen Eigenton ebenso leicht mitschwingt für tiefe als für hohe Lufttöne. Diese Vorstellung, welche theoretisch unangreifbar scheint, nöthigt den Physiologen zu dem Zusatz, dass der Gehörnerv eine ungemeine Empfindlichkeit besitze; denn offenbar ist der Seebeck'schen Meinung gegenüber die von Savart unhaltbar, welche das Trommelfell als eine Vorrichtung bezeichnet, welche den Schall der Luft sehr wenig geschwächt aufnehme; diese Empfindlichkeit würde dann die Schwäche der Trommelfellbewegung zur Erzeugung der Erscheinung, dass wir noch objektiv sehr schwache Schallbewegung vernehmen, ausgleichen.

Spannungen des Trommelfells können auf zwei Wegen willkürlich erzeugt werden: 1) Durch eine Aus- oder Einathmungsbewegung bei geschlossenem Mund und geschlossener Nase mittelst der in die Trommelhöhle durch die tuba Eustachii eingetriebenen oder ausgesogenen Luft 2) Durch Zusammenziehung des m. tensor tympani, welche von einzelnen Menschen in willkürlicher Sonderung von allen übrigen Muskeln erzeugt werden kann (J. Müller), bei Jedermann aber gleichzeitig mit sehr kräftigen Bewegungen der m. m. masseter und temporalis (L. Fick), oder auch bei Schlingbewegungen und reflektorisch nach starken Gehöreindrücken (J. Müller) geschieht. Da somit die Hammermuskeln durch Trommelfellspannung gewissen Tönen den Eintritt verschliessen, so hat man sie auch Tondämpfer genannt und sie mit dem Augenlidschliesser verglichen.

Die Abhängigkeit der Zeit der Trommelfellschwingung von derjenigen des erregenden Tones bringt A. Seebeck ebenfalls in Beziehung zu der Anlagerung der Gehörknöchelchen an das Trommelfell; offenbar mit Recht, weil die Schwingung mittelst dieser Vorrichtung leicht an die übrigen festen Theile des Kopfes weiter gegeben werden kann, und sie somit das beste Mittel darstellt, um das Trommelfell zu beruhigen. — Ueber Wirkungen des Wassergehaltes der Trommelfellmembran und über die Folge seiner Stellung und Form siehe Savart l. c. p. 26 und Gehler's physikal. Wörterbuch l. c. p. 1208.

3. Gehörknöchelchen. Der Betrachtung der akustischen Wirkungen der Gehörknöchelchen muss diejenige ihrer Gelenkbewegungen voraufgehen.

Bewegungen jedes einzelnen Knöchelchens für sich. Die Achse, um welche sich der Hammer bei einer gesonderten Bewegung drehen müsste, ist bestimmt durch die Anhaftung des proc. folianius am Paukenring und durch die Form der Gelenkfläche des Kopfes. Ob diese Bewegung in der That möglich, muss durch künftige Untersuchungen entschieden werden. — Der Ambos ist nur beweglich, wenn er gleichzeitig an mehreren Gelenkflächen seine Lage ändert; denn er ist an drei Orten (den Gelenkflächen zwischen Körper und den beiden Fortsätzen) festgestellt, welche nicht in einer Linie liegen. Da ihm kein Muskel zukommt, so werden diese Bewegungen nur möglich sein, wenn sich gleichzeitig die beiden andern Knochen an ihm verrücken. — Die isolirte Bewegung des Steigbügels ist möglich, wenn der Ambos feststeht. Die Achse ist wahrscheinlich durch das Köpfchen des Steigbügels und den hintern Winkel des Fusstrittes zu ziehen, so dass die Bewegung sich als ein Erheben und Senken des vordern Endes der Fusstrittplatte darstellt. Diese Bewegung wird beschränkt durch das ringförmige Trittband und die Nachgiebigkeit der membrana fenestrae rotundae; der Einfluss dieses letztern macht sich nämlich dadurch geltend, dass die Membran des eirunden Lochs, da sie immer von Labyrinth-Wasser bedeckt ist, nur um so viel nach innen und aussen ausweichen kann, als die Nachgiebigkeit des Wassers beträgt; diese letztere ist aber abhängig von der Nachgiebigkeit des runden Fensters; Ed. Weber. Die Bewegung wird ausgeführt durch den m. stapedius, welcher senkrecht gegen die bezeichnete Achse sitzt und dem Lauf seiner Fasern gemäss (von hinten nach vorn) das vordere Ende der Fussplatte aus dem runden Fenster hebeln muss. Der Umfang der Wirkung dieses Muskels, resp. der Umfang der durch ihn erzeugten Bewegung ist unbekannt. — Da seine Nerven aus dem Stamm des n. facialis kommen, so vermuthet man, dass sie auch aus den Wurzeln desselben stammen, eine Vermuthung, die noch dahin steht.

Gemeinsame Bewegungen der Gehörknöchelchen. a. Gleichzeitige Bewegungen von Hammer und Ambos. Ed. Weber. Die Achse dieser Bewegung ist bestimmt durch die Anheftung des proc. folianus mallei und des proc. brevis incudis. Die Befestigung der Endpunkte der Achse an der Paukenhöhle wird durch das ligamentum mallei anterius (m. laxator longus) und das straffe Kapselband um den proc. brevis incudis bestimmt; diese beiden Fortsätze, die in gerader Linie fortlaufen, sind als eine Achse anzusehen aus welcher unter rechten Winkeln nach der einen Seite der Handgriff des Hammers und der lange Fortsatz des Amboses nach der andern

Seite aber die Gelenkköpfe abstehen. Die Bahn der bewegten Fortsätze wird sonach ein Stück eines Kreisbogens senkrecht auf die Verbindungslinie vom proc. folianus zum proc. brevis incudis darstellen. Diese Bewegung wird gehemmt durch das Trommelfell, das ligamentum mallei externum (m. laxator tymp. min.) und durch das ligamentum suspensorium mallei. — Bekanntlich ist in dem Trommelfell der Handgriff des Hammers so befestigt, dass dieser letztere aus der Ebene des Paukenrings heraus in die Trommelhöhle hineingetrieben wird, mit andern Worten in der Art, dass das Trommelfell einen Trichter bildet, dessen weitere Oeffnung gegen den meatus auditor. extern. hinsieht. In dieser Lage wird aber das Trommelfell erhalten durch den proc. folianus, der eine Feder darstellt, welche sich gegen den Paukenring anlegt und den Handgriff des Hammers nach innen drängt. Demgemäss kann der Handgriff keine Bewegung ausführen ohne das Trommelfell mit sich zu führen, und nach dem vorhin erwähnten, dem Handgriff möglichen Bewegungen kann diejenige des Trommelfells nur in einem Zu- oder Abnehmen der Tiefe des Trichters bestehen; das Trommelfell hemmt nun nachweislich die Bewegung des Handgriffs nur bei der Vertiefung des Trichters, d. h. dem Einziehen des Trommelfells. In dieser Leistung wird es sehr beträchtlich unterstützt durch das lig. mallei externum, während das lig. suspensor. mallei das Eintreten des Trommelfells in den meat. auditor. hemmt. — Diese eben geschilderten Bewegungen können nun veranlasst werden durch den musc. tensor tympani, und durch Ungleichheiten des Luftdruckes diesseits und jenseits des Trommelfells, so dass im ersten Fall der Angriffpunkt der bewegenden Kräfte am collum mallei und im zweiten am Trommelfell sich findet. — Die Sehne des m. tensor tympani geht, nachdem sie ihre Rolle verlassen, bekanntlich von hinten nach vorn und trifft unter einem rechten Winkel gegen die Ebene, in welcher die Hammer- und Ambosfortsätze gelegen sind, oder was dasselbe bedeutet gegen die Projektion des Trommelfells in der Ebene des Trommel rings; demnach zieht er das Trommelfell nach hinten. Der Umfang seiner Bewegungen ist nicht bekannt. Die Verkürzung vermittelt ein Zweig aus drittem Aste n. trigemini, wahrscheinlich liegen auch die Fasern desselben in den Wurzeln des Quintus, da man die Verkürzung des Muskels erzeugen kann, wenn man die den Unterkiefer schliessenden Muskeln kräftig verkürzt. Die Bewegung dieses Muskels erzeugt einen feinen hohen Ton, der wahrscheinlich durch die Zerrung des Trommelfells bedingt ist.

Um die Bewegung des Trommelfells bei energischen Kaubewegungen darzuthun, fügt L. Fick*) ein horizontales, enges Glasrohr, in dem sich ein Wassertröpf-

*) Müllers Archiv 1850. 526. Siehe ausserdem über Bewegung des Hammermuskels; Luschka Archiv für physiolog. Heilkunde, IX. Bd. p. 80 und Hauff, Valentins Jahresbericht über 1850. p. 119.

chen befindet, mittelst gefetteter Baumwolle luftdicht in den äusseren Gehörgang, schliesst dann den Kiefer und presst nun noch durch eine kräftige Bewegung die Zähne aufeinander. Hiebei hört man einen hohen feinen Ton, während zugleich das Wassertröpfchen in der Richtung gegen das Innere des Gehörgangs bewegt wird.

Ausser dem m. tensor tympani veranlassen auch Luftstösse die beschriebene Bewegung des Trommelfells und zwar sowohl solche, welche durch den meatus auditorius extern. als auch die, welche durch die tuba Eustachii und die Trommelhöhle zum Paukenfell dringen.

b. Gleichzeitige Bewegung von Hammer, Ambos und Steigbügel. Der Steigbügel folgt, vorausgesetzt dass er nicht durch den m. stapedius festgestellt ist, den schon beschriebenen Bewegungen des Hammers und Amboses; in Folge dessen muss die eiförmige Fensterhaut entweder ein- oder ausgebogen werden, entsprechend der Trommelhaut. Der Umfang der Bewegung wird auch hier abhängig sein von der Nachgiebigkeit der Haut vor dem runden und ovalen Fenster.

Zu den Umständen, welche die gleichzeitige Bewegung de rdrei Gehörknöchelchen veranlassen können, zählt Huschke ausser den schon erwähnten auch die Verkürzungen des m. stapedius; und zwar soll hiedurch die Bewegung, welche durch den m. tensor tympani nach hinten geschah, nach vorn ausgeführt werden, so dass die beiden Muskeln antagonistisch wirkten. Dieser Annahme gemäss müsste der Faserverlauf in der Zugrichtung beider Muskeln gerade entgegengesetzt sein, eine Bedingung, die jedoch nicht zutrifft.

c. Gleichzeitige Bewegungen von Ambos und Steigbügel ohne eine entsprechende des Hammers dürfte endlich ebenfalls möglich sein; sie tritt wahrscheinlich ein, wenn das Trommelfell und somit der Hammerstiel so stark ein- oder auswärts gebogen ist, dass der Abstand zwischen der Trommel- und Fensterhaut beträchtlich verändert ist. In diesem Fall vergrössern oder verkleinern sich wahrscheinlich die Winkel, unter welchen der Ambos mit dem Hammer und der Steigbügel mit dem Ambos zusammentrifft, so dass sich die Kette der Knöchelchen verlängert oder verkürzt. Dieses scheint nothwendig, weil die Haut des eiförmigen Fensters nicht in gleichem Maasse nachgeben kann wie die Trommelhaut. Diese Bewegungen dürften sich vorzugsweise beim Aufblasen und Aussaugen der Trommelhöhle ereignen.

Nach der Erörterung der Beweglichkeit der Knöchelchen gehen wir zu der Betrachtung der akustischen Vorgänge in ihnen über. — Als die Schallbewegung aus der Luft in das Trommelfell eingetreten war, verwandelten sich die Verdichtungs- in Beugungswellen; das nach innen und aussen schwingende Trommelfell wird auf diesem Wege die Reihe der Gehörknöchelchen mit sich ziehen und dadurch wird sich sein bewegender Effekt auf die Haut des ovalen Fensters und auf das Labyrinthwasser übertragen; Ed. Weber. Dieser einfachen Annahme steht eine andere ältere gegenüber, wonach durch die Kette der Knöchelchen wieder Verdichtungs- und Ver-

dünnungswellen geleitet würden, die in das Labyrinthwasser auch als solche übergingen; beurtheilt man diese letztere Art der Leitung nach den von Duhamel*) für ähnliche akustische Einrichtungen ermittelten Grundsätzen, so wird durch die aus dem Trommelfell in den Hammer eindringenden Wellen der letztere in zwei verschiedene Schwingungsperioden versetzt werden. Die eine derselben ist abhängig von der Spannung der in der Hammersubstanz enthaltenen Theilchen, d. h. sie stellt den Eigenton des Hammers dar; die zweite ist dagegen gleich derjenigen, welche dem Hammer vom Trommelfell mitgetheilt wurde; erst bei hinreichend langer Dauer dieser letztern würde die erste Bewegung verschwinden. Aehnlich dürfte sich der Hammer zum Ambos und dieser zum Steigbügel verhalten.

Die Weber'sche Annahme scheint die wahrscheinlichere von beiden; jedenfalls sind wenigstens die Bedingungen so gestaltet, dass die von ihm beschriebene Bewegungsübertragung Statt finden muss.

Die besondere Lagerung der Gehörknöchelchen in der Trommelhöhle, vermöge deren sie nur an wenigen Stellen mit der festen Wandung derselben in Berührung sind, betrachtet Joh. Müller, welcher der zweiten der im Text erwähnten Ansichten über Mittheilung der Schallbewegung anhängt, als ein Mittel, um die Schallbewegung zu isoliren, da an den Grenzen zwischen Luft und festem Körper der Schall bekanntlich reflektirt wird. Dieser Annahme widerspricht aber die mannigfache Berührung zwischen den Gehörknöchelchen und der Trommelhöhle.

Auf eine andere Bedeutung der beweglichen Knochenkette in ihrer Verbindung mit dem Trommelfell ist schon hingewiesen, als die Einflüsse der Trommelfellspannung besprochen wurden.

3. Labyrinth**).

Die Form der vom Steigbügel an das Labyrinth übertragenen Schallwelle, wird wiederum bald als gebeugte und bald als verdichtete angesehen. — Ed. Weber, der die erstere dieser Meinungen aufgestellt hat, macht darauf aufmerksam, dass am Labyrinthwasser die Bildung einer Beugungswelle gestattet sei, weil dasselbe nicht von absolut unnachgiebigen Wänden umgeben ist, indem die Oeffnung für den Steigbügel am runden Fenster ein Gegenloch findet; nach Ed. Weber wird also durch den Stoss der im Ganzen bewegten Gehörknöchelchen die eiförmige Membran in das Wasser des Vorhofs gedrängt, und von hier die Ortsbewegung der Wassertheilchen fortgepflanzt durch die Schnecke bis zu der Membran des runden Fensters, welche dadurch eine entsprechende Ausbiegung erfährt. — Nach der andern Ansicht verdichten die in den Knöchelchen vorhandenen Bewegungen die kleinsten Theilchen der Masse der Membran und diese ihrerseits wieder diejenigen des Wassers; die Membran soll auch hier vermittelnd

*) Compt. rend. XV. 1.

**) E. H. Weber, Gesammelte Programme 1. Bd. Leipzig 1834. p. 25 de utilitate cochleæ in organ. aud. — Joh. Müller, Handbuch der Physiol. II. Bd. p. 459. — Ed. Weber l. c. und Berichte der Naturforscher-Versammlung zu Braunschweig.

für den Uebergang der Bewegung aus einem Medium in ein anderes wirken.

Die von Ed. Weber gegebene Darstellung hat insofern viel ansprechendes, als sie in Uebereinstimmung steht mit der Art von Beweglichkeit, welche dem Wasser vorzugsweise eigen ist; und weil man nach ihr dem Trommelfell und den auf den Hörnerven unmittelbar wirkenden Theilen eine grössere Beweglichkeit zuschreiben darf. Wollte man in der That annehmen, es sei das Trommelfell durch die Gehörknöchelchen auf das in unnachgiebigen Wänden eingeschlossene Wasser aufgestemmt, so würde weitaus der grösste Theil der schallmittheilenden Kräfte reflektirt werden, wegen des Widerstandes, den das Wasser jeder merklichen Veränderung seiner Dichtigkeit entgegensetzt. Endlich ist mit der Weber'schen Darstellung eine alte ungereimte Ansicht beseitigt, diejenige nämlich von der doppelten Leitung durch die Paukenhöhle. Dieser, noch von J. Müller vertretenen Annahme gemäss sollte die eine Schallleitung vom Trommelfell zu den Gehörknöchelchen durch das eirunde Fenster und zugleich eine andere mittelst der Luft der Paukenhöhle durch das runde Fenster in das Labyrinthwasser gelangen. Die Müller'schen Versuche zeigten, wie es die Theorie erwarten liess, eine ausserordentliche Abschwächung des Schalles auf dem letzteren Wege, so dass die durch die Gehörknöchelchen geleitete Welle die durch die Luft dringende an lebendiger Kraft weit übertrifft. Für das Hören würde das bedeuten, dass man einen schwachen und einen sehr lauten Ton zusammen vernähme. — Diesen Wahrscheinlichkeitsgründen gegenüber erheben sich nun aber auch Bedenken gegen die Annahme von Ed. Weber; unter ihnen wiegt das am schwersten, welches entsteht bei einer Vergleichung der bewegenden Kräfte und der widerstehenden Lasten. Denn so weit die Weber'schen Darstellungen vorliegen, verlangen sie, dass gleichzeitig auch von den schwächsten Schallbewegungen die grosse Last des Trommelfells, der Gehörknöchelchen und des Labyrinthwassers fortzuschaffen sei und zugleich die Reibungen zu überwinden wären, die sich dieser Verschiebung entgegensetzen.

Unbekannt ist es, in welcher Form und Kraft die Welle in die Gehörsäckchen, und insbesondere in das Bereich der Gehörsteine, in die Spiralplatte der Schnecke und insbesondere in die Cortischen Organe*) eintritt. Ebensowenig sieht man die Nothwendigkeit ein, warum die Nerven mit Wasser umspült sein müssen. Ob durch die eintretende Bewegung die Nerven zusammengedrückt, (verdichtet) oder nur gebogen (umher geschleudert) werden ist unbekannt.

Die Mittheilungen über die Wirkung der Schallwellen im Labyrinth haben leider noch mehr Probabilitäten abzuweisen als gesunde Hypothesen vorzuführen oder zu bestätigen. — Die gewöhnliche Meinung, dass die in der Schnecke enthaltenen Nerven durch die aus dem Steigbügel tretende Bewegung weniger angeregt würden, als die der Ampullen und Säckchen, entbehrt besonders seit dem Bekanntwerden der Untersuchungen von Corti jeglicher Begründung. — J. Müller nennt die Gehörsteinchen einen Resonnanzapparat auf Grund der vermeintlichen Thatsache, dass ein Beutelchen voll Steine, die man in Wasser hängt, den Schall gut aufnehmen und wieder abgeben; inwiefern wäre aber die Otolithenvorrichtung mit jener zu vergleichen? und ist die Fundamentalthatsache begründet? — Auch die von Bowmann und Corti und besonders die von letzterem beschriebene Struktur hat schon Veranlassung zu freilich ziemlich nichtssagenden Bemerkungen gegeben. Da nach diesen Entdeckungen die Spiralplatte der Schnecke mit sehr leichten und leicht beweg-

*) Recherches sur l'organe de l'ouïe etc. Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie von Kölliker III. Bd. 1. Hft.

lichen Körperchen bestreut ist, die in einem gut geschützten Raume eingebettet ihrer Anheftung gemäss immer in dieselbe Lagerung zurückkehren, so müssen sie ähnliche Wirkungen erzeugen, als wir sie gewahren, wenn wir Sand auf eine Platte streuen, die in Schwingungen geräth; es müssen sich nämlich, gleichgiltig ob Beugungs- oder Verdichtungswellen in der Spiralplatte bestehen, die Körperchen der habenula denticulata abheben; durch Vergrösserung des Weges der schwingenden Theilchen wird demnach die Zeitdauer des Verweilens der Schwingung in der Spiralplatte verlängert werden; Corti. Verfehlt ist dagegen die Meinung von Harless*), welcher die freischwebenden Körper als Dämpfer ansieht; sie würden dieses nur sein können, wenn sie mit irgend welchen Theilen ausserhalb des Ohres in direkter Verbindung ständen, so dass sie dorthin die von der Spiralplatte empfangene Bewegung übertragen könnten. — Die Gegenwart des Gehörwassers suchte J. Müller aus dem flüssigen Nerveninhalt begreiflich zu machen; er dachte sich, dass die im Wasser vorhandene Schwingung in das Nervenmark, als in ein homogenes Mittel besonders leicht und vollkommen übertrete. Diese Hypothese würde annehmbar sein, wenn der Nerveninhalt nur Nervenmark wäre und dieser Inhalt das Wasser ohne ein zwischen liegendes heterogenes Mittel (die Scheide) berührte; denn nur in diesem Falle würden die Wellen des Wassers ungestört eingehen. — Anderweitige Annahmen über die akustische Funktion des Labyrinths siehe bei J. Müller.

Ueber die merkwürdigen Aquaeductus, die man mit Unrecht als abgethan ansieht, vergleiche die Literatur bei Huschke, Eingeweidelehre, p. 872. Anmerkung.

4. Eustachische Röhre.

Um Spielraum für die Bewegungen der Felle vor dem Trommelring, vor dem runden Fenster und für die Gehörknöchelchen zu gewinnen, mussten alle diese Theile in eine Substanzlücke, die Trommelhöhle gestellt werden. Diese Höhlung, die mit Luft gefüllt ist und deren Wände mit gashaltigen Flüssigkeiten getränkt sind, ist bekanntlich durch die Trompete mit der Atmosphäre in Verbindung gesetzt. Die Folgen dieser Verbindung lassen sich kurz dahin bestimmen, dass a) die Luft ausserhalb keine andere Spannung erhalten kann als innerhalb, eine Verschiedenheit, welche ohne diese Communikation eintreten würde bei Veränderungen in der Zusammensetzung der Gase des Blutes, in dem Barometerstande der Atmosphäre und bei Bewegungen des Trommelfells durch den Hammer. Wie oben erwähnt würden solche Veränderungen in der Spannung einen Wechsel in der Fähigkeit des Trommelfells Töne aufzunehmen herbeiführen, mit andern Worten die Empfindlichkeit des Ohrs einem stetigen Schwanken unterworfen sein. b) Aber selbst unter Voraussetzung gleicher Dichtigkeit der Luft aussen und innen, würde bei mangelnder Communikation zwischen Trommelhöhle und Atmosphäre jede Art von Bewegung des Trommelfells erschwert werden, wegen der steigenden Verdichtung oder Verdünnung der Luft. Dann würden sowohl die Wirkungen des Hammermuskels als auch der Uebergang der Schallwellen in das Trommelfell, die hier neben einer Verdichtung immer auch eine Beugung hervorrufen, eine Hemmung erfahren haben.

*) Harless, Artikel Hören in Wagners Handwörterbuch. IV. Bd. 447.

Ausser diesen mechanischen Folgen der Trompete hat man öfter auch nach besonderen akustischen geforscht; einsichtlich ist es, dass die Resonanz der Luft in der Trommelhöhle eine Veränderung erfährt, je nachdem ihre Wände rings geschlossen oder theilweise geöffnet sind; ob aber das auf das Hören von Einfluss ist, steht zu erweisen. Anderweitige Probalitäten finden sich noch in Müllers Handbuch der Physiologie II Bd. 444.

B. Schallleitung durch die Kopfknochen.

Der zweite Weg, auf welchem Schallwellen, die im Raume erregt worden zu den Gehörnerven gelangen können, sind die Schädelknochen. Wegen des schlaffen wenig gespannten Ueberzugs, welchen die Weichtheile (Haut, Muskeln etc.) denselben gewähren, und wegen des beträchtlichen Spannungsunterschiedes, in welchem sich die Moleküle des Knochens gegenüber denen in eben diesen Weichtheilen befinden, könnte ein Zweifel erhoben werden, ob überhaupt die Kopftheile insoweit zur Leitung fähig wären, dass eine merkliche Schallbewegung durch sie zum Gehörnerven dränge. — Dieser Zweifel wird durch die Erfahrung dahin berichtigt, dass allerdings nur Luftwellen von sehr intensiven bewegenden Kräften durch die Kopfknochen vernommen werden, während Schallwellen, welche unmittelbar aus festen Körpern und namentlich durch die Zähne, in den Kopf eindringen, ohne besondere Schwierigkeit in das Labyrinth gelangen.

Ob hohe oder niedre Töne leichter geleitet werden, ob und welche Veränderungen an dem Gesetz der beschleunigenden Kräfte der schwingenden Theilchen auf dem Wege durch die Kopfmassen zum Vorschein treten, ist empirisch nicht festgestellt und theoretisch nicht bestimmbar. Sehr wahrscheinlich ist es aber, dass dieselbe Welle, je nachdem sie durch die Trommelhöhle oder durch die Kopfknochen zu den Hörnerven gedrungen ist, verschieden modifizirt anlangt; Bonnafond*).

Im Labyrinth selbst wird nach einer begründeten Vermuthung von E. H. Weber**) der durch die Kopfknochen dringende Schall vorzugsweise in die Schneckennerven eintreten, weil er zu diesen ohne irgend welche Reflexion gelangen kann; denn es verbreiten sich ja die Schneckennerven in festen Theilen. Schwieriger und demnach mit geringerer Intensität möchten sie dagegen in die Nerven der Ampullen und Säckchen dringen, weil sie, um zu diesen zu gelangen, noch ein neues Medium, die Perilymphe zu überschreiten haben. — Die von Ed. Weber entdeckte Betheiligung dieser Art von Schallfortpflanzung bei der Bestimmung der Richtung des Hörens wird später behandelt werden.

Das einfache Mitttel um die Leitungserscheinunges des Kopfes insbesondere zu studiren besteht darin, das Trommelfell unfähig zu machen für die Aufnahme von

*) Valentins Jahresbericht über Physiologie 1851. p. 162.
**) De utilitate cochleæ etc. l. c.

Luftschwingungen. Dieses geschieht nach Ed. Weber am sichersten, wenn man den äusseren Gehörgang mit Ausschluss jeglicher Luftblasen voll Wasser füllt.

Gehörnerv.

Die auf die Seele wirkenden Erregungen der Hörnerven erzeugen die Empfindung des Schalles. Dieser Empfindung steht die Stille gegenüber, womit wir den Zustand bezeichnen, in welchen der Gehörnerv keine Erregungen der Seele veranlasst.

1. Erregungsmittel.

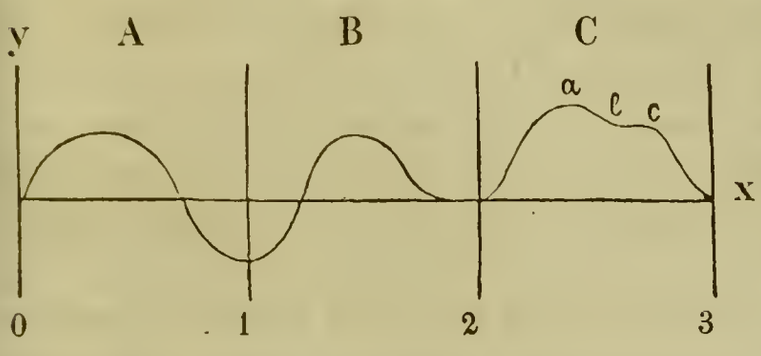
Zu den Schall erregenden Mitteln zählt man erfahrungsgemäss nur mechanische Erschütterungen, seitdem es zweifelhaft geworden, ob durch den electrischen Strom Schallempfindung zu erzeugen sei; E. H. Weber*). Jedoch nicht jede Veränderung in den mechanischen Spannungsverhältnissen der auf den Hörnerven einwirkenden ponderablen Masse ruft eine Schallempfindung hervor. Ausgeschlossen von diesem Vermögen sind alle diejenigen mechanischen Einwirkungen, welche eine für längere Zeit constante Spannungsveränderung, einen stetigen Druck und Zug auf den Gehörnerven bedingen. Demgemäss werden nur fortlaufende Veränderungen in den Spannungs- oder Lagerungszuständen des Gehörnerven oder in den ihn umgebenden Theilen als Schall empfunden. Diesen Veränderungen müssen aber ausserdem, wenn sie schallerregende sein sollen, noch gewisse Merkmale zukommen und namentlich müssen die beschleunigenden Kräfte nach irgend einer Periode zu- und abnehmen, so dass die Beschleunigung von einem Minimum zu einem Maximum aufsteigt, und von diesem wieder zu seinem Minimum absinkt, ferner müssen wahrscheinlich mehrere solcher Perioden der Zeit nach hintereinander folgen, und endlich muss die durch die beschleunigenden Kräfte erzielte Bewegung eine gewisse Geschwindigkeit erreichen. Eine so beschaffene Bewegung erweckt nun verschiedene Empfindungen je nach dem Zeitraum, welcher vom Beginn einer Periode bis zum Beginn der nächsten verfliesst, je nach dem Gesetz der Beschleunigung, welche die Bewegung beherrscht und endlich je nach dem absoluten Werth der Geschwindigkeit, mit welcher die Bewegung geschieht.

a. Veränderung der Empfindung mit dem zeitlichen Abstand des Beginns zweier Perioden. Ton, Tonhöhe. — Je nach dem Zeitraum, welcher verfliesst vom Beginn einer Schwingung bis zum Beginn der nächst folgenden wechselt die Empfindung. Den einer solchen Periode parallel gehenden Empfindungsakt belegen wir mit dem Namen des Tons, und wir nennen einen Ton um so höher, je kürzer der Zeitraum einer Periode ausfällt. Wir empfinden dem gemäss die Zeit der Schwingung, oder zählen mit andern Worten [durch die Art der Empfindung]

*) Artikel Tastsinn in Wagners Handwörterbuch p. 508.

die Summe der Perioden, welche in der Zeiteinheit abläuft. Für die Tonhöhe ist das Beschleunigungsgesetz, welches die einzelne Schwingung beherrscht, vollkommen gleichgiltig; so werden z. B. die in der Fig. 76 verzeichneten Curven *A*, *B*, *C*, deren Abszisse x die Zeit und deren Ordinaten y die in den verschiedenen Zeiten vorhandenen Geschwindigkeiten des schwingenden Theiltones bedeuten, sämmtlich den Eindruck gleicher Tonhöhe machen, weil die Zeiten von 0 bis 1 von 1 bis 2 und von 2 bis 3 einander gleich sind.

Fig. 76.



Die Tonreihe hat ihre obere (?) und untere Grenze, d. h. wenn eine Periode ein gewisses Zeitmaass übersteigt, oder ein anderes Zeitmaass nicht erreicht, so erweckt sie uns keine Tonempfindung mehr. Mit einiger Willkür hat man festgesetzt, dass eine Schwingung, deren Periode länger als $\frac{1}{16}$ Sec. und kürzer als $\frac{1}{38000}$ Sec. dauert, keine tonerzeugende Kraft mehr besitzt. Diese Annahme ist insofern willkürlich, als die Grenzen für verschiedene Menschen ganz verschieden liegen; zudem ist nicht ermittelt ob die Gründe für das Verschwinden der Hörbarkeit in den Nerven oder in den schallleitenden Gehörwerkzeugen liegen. — Bemerkenswerth ist, dass innerhalb dieser Grenzen je nach den Zahlenverhältnissen, welche zwischen den Schwingungszeiten der Töne bestehen, diese letzteren gewisse Analogien in der Empfindung besitzen.

Der Beweis für die Richtigkeit der vorgetragenen Behauptungen wird durch die in allen Lehrbüchern der Physik beschriebene Sirene oder das Savart'sche Zahnrad geliefert. — Weit ansprechender für die physiologische Bestimmung des Tons würde es sein, wenn man ihn als das Maass für die Dauer einer abgelaufenen Schwingung bezeichnete. Dieses ist aber nicht erlaubt, da man nach den Versuchen von Seebeck*) auch die Zwischenzeit zweier Perioden, in denen die Bewegung selbst sehr kurze Zeit hindurch (so z. B. gegen Ende von B in Fig. 76) Null sein kann mit in die Bestimmung des Tons aufnehmen muss; ja was noch merkwürdiger, selbst wenn die Geschwindigkeit von einem Maximum, wie in *C* bei *a* um ein nicht unbeträchtliches absinkt und eine neue Steigerung bei *b* erfährt, so fassen wir doch beide Steigerungen in einen Ton zusammen **). Demgemäss muss also die Bewegung schon eine gewisse endliche Zeit auf das Ohr eingewirkt haben, ehe wir die Empfindung des Tons erhalten, was sich in noch ungelöstem Widerspruch befindet mit der Thatsache, dass wir mit dem Moment des Eintretens der tonerzeugenden Bewegung schon ein Urtheil über die Tonhöhe bilden.

b. Veränderung der Empfindung je nach dem Gesetz der Beschleunigung, welches die Schwingung beherrscht, Klang, Tonqualität. Die schwingende Bewegung kann begreiflich je nach ver-

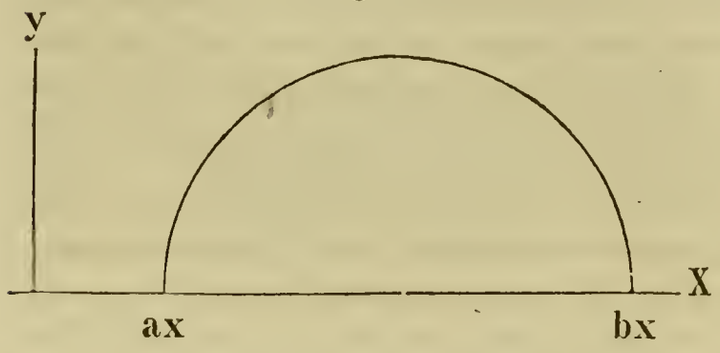
*) Dove Repertor. d. Physik. VI u. VIII. Akustik.

**) Seebeck l. c. VI. p. 7. — S. auch Savarts Versuche mit dem Zahnrad. Annales d. chim. et phys. 44. u. 47. Bd.

schiedenen Umständen innerhalb derselben Zeit auf eine unendlich mannigfache Weise ihr Maximum erreichen und von demselben absinken. Eine jede Veränderung in diesem Beschleunigungsgesetz entspricht einer Veränderung der Empfindung, die wir den Klang nennen, so dass ein Ton von derselben Höhe in unendlich verschiedenen Klängen empfunden werden kann. Obwohl im Allgemeinen durch E. H. und W. Weber, Cagnard Latour und Seebeck festgestellt ist, dass der Klang aus dem Beschleunigungsgesetz der Schwingung resultirt, so fehlt nun noch die Kenntniss der Beziehungen beider und namentlich die Kenntniss der Grenzen zwischen Klang und sogenannten Beitönen.

E. H. und W. Weber*) zeigten zuerst, dass eine gleich lange und gleich gespannte Saite einen verschiedenen Klang desselben Tones gibt, je nachdem man sie in der Mitte oder den Enden anzieht. — An der Sirene fand Cagnard-Latour den Ton mehr der Trompete, Oboe und Fagott oder der menschlichen Stimme ähnlich, je nachdem die Entfernung der Löcher zu ihrem Durchmesser in verschiedenem Verhältniss stand. Seebeck**) brachte auf einer Sirene die Löcher von 1- bis 60-fachem Abstand ihres Durchmessers an; in diesen Fällen wurden die einzelnen Stösse durch eine verschieden lange Zeit der Ruhe von einander getrennt. Diese Methode der Tonerzeugung hat den Vortheil, dass man sich eine ungefähre Vorstellung von der Ab- und Zunahme in der Geschwindigkeit der schwingenden Theilchen bilden kann. Denn stellen wir uns vor, die Röhre, mittelst welcher die Sirene angeblasen werde, habe eine kreisförmige Mündung von gleich grossem Durchmesser, wie derjenige der Sirenenlöcher, so wird offenbar beim allmäligen Vorübergehen eines Sirenenlochs vor der Mündung der anblasenden Röhre die Beschleunigung der Luft wachsen von der beginnenden Berührung der Grenzen beider Oeffnungen bis zum vollständigen Aufeinanderpassen und dann wird von diesem Punkt ab die Beschleunigung wieder abnehmen bis die Mündung der anblasenden Röhre in dem Raume zwischen zwei Löchern anlangt, wo dieselbe ihr Minimum erreicht. — Stellen wir uns dieses graphisch vor, in der Art, dass Fig. 77 die Linie *X* die Zeit, die auf sie aufgetragene die Beschleunigung der Luft bedeuten, so wird, wenn bei *ax* zuerst die Grenzen beider Mündungen sich berühren und bei *bx* die Mündungen sich verlassen, das Gesetz der Beschleunigungscurve im Allgemeinen wie gezeichnet, ausfallen.

Fig. 77.



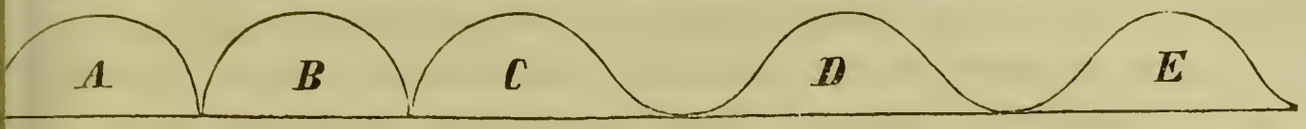
Je nachdem nun die gleichgrossen Mündungen mehr oder weniger nahe an einander stehen, wird ein Ton zusammengesetzt aus einer Reihe mehr oder weniger nahe zusammenstehender Bogen. Seebeck beobachtete nun, dass die Tonhöhe unverändert blieb, wenn nur in gleichen Zeiten gleichviel Stösse zum Ohr gelangten, dass dagegen der Ton mehr pfeifenartig wurde, wenn die einzelnen Stösse rascher aufeinander folgten, wie in *A, B, C* der Fig. 78, dass sie dagegen einen schnarrenden Klang annahmen, wenn sie in grossen Entfernungen geschehen, wie in *C, D, E*. Wie man sieht, eröffnet sich mit diesen Versuchen der Forschung ein reiches Gebiet.

---

*) Wellenlehre p. 458.

**) Repertor. v. Dove VIII Bd. Akustik p. 1 u. f.

Fig. 78.



c. Veränderung der Empfindung nach dem absoluten Werth der beschleunigenden Kräfte. Tonstärke. Eine Schwingungsperiode von gleicher Zeitdauer und gleichem Gesetze in der Folge der Bewegungen, also von gleicher Tonhöhe und gleichem Klang kann einen verschieden starken Eindruck auf das Gehör machen, je nachdem die absoluten Werthe der beschleunigenden Kräfte sich ändern. Diese Annahme wird dadurch erwiesen, dass eine Saite u. dergl. bei verschieden kräftigem Anschlag Töne von verschiedener Intensität gibt. Nach welchem Gesetz die Intensität der Empfindung mit der Intensität der Bewegung sich ändert, ist um so schwerer zu ermitteln, als die Empfindlichkeit des Gehörnerven den mannigfachsten Schwankungen unterliegt. Natürlich ist desshalb auch keine Angabe darüber möglich, welche Kraft die Bewegung besitzen muss, um überhaupt noch gehört zu werden.

d. Ausser den Tönen, die wir bisher betrachteten, werden dem Gehör noch eine grössere Reihe anderer Bewegungen Gegenstand der Empfindung, die mit dem allgemeinen, viel umfassenden Namen des Geräusches bezeichnet werden. Das Geräusch selbst wird je nach besondern Modifikationen der Empfindung wieder als ein summendes, brausendes, schwirrendes, klapperndes u. s. w. bezeichnet. Ueber die Natur der Bewegung, welche diese Geräusche veranlasst, fehlen uns alle Untersuchungen. Nach mehr oder weniger Wahrscheinlichkeit hat man sie bald als Folge einer Periode angesehen, welche in einer zu langen Zeit abläuft, um noch die Empfindung des Tons zu ermöglichen, bald aber auch als eine Combination vieler durcheinanderfahrender Tonbewegungen, deren Beschleunigungsgesetze sich wechselseitig stören. In diesem letzteren Sinne vergleichen die Gebrüder Weber das Geräusch der Empfindung der weissen Farbe; Seebeck macht die diese Behauptung bestätigende Angabe, dass sich aus den Geräuschen einzelne deutliche Töne hervorhören lassen, wenn man sich dem geräuscherzeugenden Gegenstand mehr oder weniger nähere oder sich in verschiedener Richtung gegen ihn stelle.

2. Gesondertes Hören gleichzeitig erregter Töne.

Die überraschende Thatsache, dass bei gleichzeitiger Erregung verschiedener Schallbewegungen und bei gleichzeitigem Eindringen derselben in das Ohr in diesem nicht eine aus allen Bewegungen resultirende Empfindung geschieht, sondern die einzelnen Töne geson-

dert gehört werden, hat man aus einer specifischen Eigenthümlichkeit des Gehörorgans abzuleiten gesucht. Man glaubte, den besondern Formen der Pauke oder des Labyrinths die Fähigkeit zuschreiben zu dürfen, dass diese vermögend seien eine ihnen mitgetheilte zusammengesetzte Bewegung, wieder in ihre Componenten, aus denen sie hervorgegangen sei, zu zerlegen. Abgesehen von der physikalischen Unmöglichkeit, die dieser Vorstellung zu Grunde liegt, ist nun auch durch Versuche von Seebeck erwiesen worden, dass jede schon ausserhalb oder innerhalb des Ohres eintretende Combination zweier oder mehrerer Schallbewegungen zu einer resultirenden, von den Gehörnerven nur als diese resultirende empfunden wird. Wir müssen demgemäss voraussetzen, dass jeder gesondert empfundene Ton sich auch durch ein Merkmal aus einer Summe gleichzeitig erscheinender aussondert, mit andern Worten, dass die gleichzeitig vorhandenen, spezifisch verschiedenen Schallbewegungen sich im Ohr entweder überhaupt nicht zu einer resultirenden Bewegung zusammensetzen, oder wenn, doch zu einer solchen, welche die spezifischen Eigenthümlichkeiten der einzelnen Töne nicht verdeckt. Wenn unsere physikalischen Kenntnisse im akustischen Gebiet dereinst so weit gediehen sein werden, dass wir die Bahnen, welche die Theilchen des schallenden Körpers durchlaufen, kennen, wird es vielleicht gelingen, zu erörtern, dass zu Gunsten der hier besprochenen Funktionen die Vertheilung der Nerven in den besondern Flächen der Schnecke und der Säckchen geschehen ist.

Die physikalisch und physiologisch gleich interessanten Versuche von Seebeck*) wurden an der Sirene angestellt. Wenn er gleichzeitig aus zwei entgegengesetzt gerichteten Röhren gegen die Löcher der drehenden Scheibe blies, so wurde der Ton vollkommen ausgelöscht; im Ohr langten dann gleichzeitig zwei Töne gleicher Stärke und Höhe aber entgegengesetzter Richtung an, die vollkommen interferirten. Diesem entsprechend konnte bei derselben Art des Anblasens ein Ton um eine Oktave heruntergestimmt werden, wenn er auf einer Scheibe zwei conzentrische Löcherreihen anbrachte, in der Art, dass die Löcher der einen Reihe jedesmal eines der andern übersprangen, also nur $\frac{1}{2}$ so zahlreich vorhanden waren, wie dies Fig. 79 angibt.

Fig. 79.

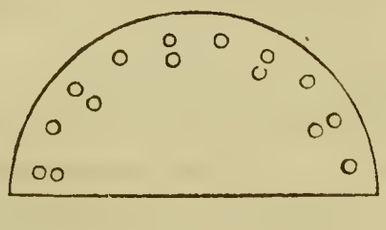
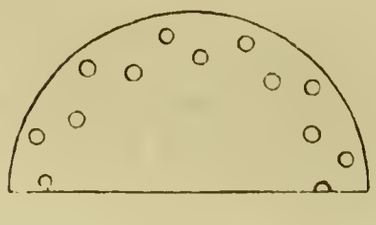


Fig. 80.



Hier interferirten begreiflich die Stösse der übereinanderstehenden Oeffnungen, so dass nur die der mittleren tonerzeugend wirkten. — Seebeck zeigte ferner, dass wenn man von derselben Seite her gleichzeitig die Oeffnungen zweier conzentrischen Reihen anblies, deren einzelne Glieder so gestellt waren, dass die einen den Zwischenraum der andern halbirten, (siehe Fig. 80) die Oktave des Tons erhielt, welchen jede Löcherreihe für sich gab. Hier erhöhten sich also zwei an verschiedenen Orten erzeugten Töne. — An diesen Ort gehören wahrscheinlich auch die bekannten Sorg'schen Töne und das, was man in der Musik die Stösse nennt**); beide Erscheinungen müssen aber noch eine bessere Erläuterung erfah-

*) Dove's Repertorium VI. u. VIII. Bd.

**) Dove's Repertorium III.

ren, als die von Scheibler herrührende, welche in alle Lehrbücher der Physik und Physiologie aufgenommen und dort nachzusehen ist. Nach dieser Erklärung soll nämlich das Gehörorgan die Resultirende und dann auch wieder die Componenten hören, was natürlich nicht angeht.

3. Nachtönen.

Die Empfindung muss die Erschütterung der Gehörnerven überdauern, wie aus den Thatsachen über die Empfindung der Tonhöhe hervorgeht, aber dieses Ueberdauern beträgt nur sehr kurze Zeiten wie daraus folgt, dass verschiedene rasch hinter einander erzeugte Töne sich in der Empfindung nicht stören. Zudem ist es eine bekannte Erfahrung, dass selbst nach anhaltender Einwirkung eines Tons kein Nachtönen (ähnlich den Nachbildern) eintritt. Doch kann nicht alles Nachtönen geläugnet werden; nach stunden- oder tagelangem Andauern eines Tons bleibt er endlich, selbst wenn das tönende Objekt entfernt ist, im Ohr zurück. — Die Umstände seiner Entstehung bedürfen noch genauerer Untersuchung.

4. Feinheit der Tonunterscheidung; musikalisches Gehör.

Die Fähigkeit Töne überhaupt zu hören, ist wesentlich von dem Vermögen, die gehörten Töne ihrer Höhe nach in eine richtige Reihenfolge zu stellen, verschieden; bekanntlich ist ein scharfes Gehör noch kein musikalisches. Ob die Gründe für die Feinheit des musikalischen Gehörs nur in einer besonderen Ausbildung der Seelenfähigkeiten oder auch in einer gleichzeitigen der Gehörnerven gesucht werden müssen, ist vorerst eine müssige Untersuchung. Ueber das Vermögen selbst genügt es, hier nur anzumerken, dass nach Seebeck*) von geübten Musikern mit Leichtigkeit noch Töne als verschieden erkannt und richtig geordnet werden, welche auf 1200 Schwingungen in der Sekunde um 1 Schwingung differiren.

Die gewöhnlichen dürftigen Andeutungen über Accorde, Harmonie u. s. w., welche in den physiologischen Lehrbüchern abgehandelt werden, haben wir hier absichtlich unterdrückt. Sie gehören in die Theorie der Tonkunst.

5. Nachaussensetzen der Gehörempfindung. Richtungen des Hörens.

Die Empfindungszustände der Gehörnerven setzt die Seele, gleich denen des Gesichtsnerven, nicht in die Nerven oder in unsern Körper, sondern jenseits desselben in den Raum. Nach der bemerkenswerthen Entdeckung von Ed. Weber sind es die Schwingungen des Trommelfells, welche uns diese Vorstellung verschaffen; denn es zeigte sich, dass wir nur so lange die schallerzeugende Ursache als ausserhalb unseres Körpers befindlich ansehen, als das Trommelfell zu Schwingungen befähigt ist; während wir augenblicklich den ausserhalb unse-

*) Dove's Repertorium VIII. Akustik 106.

res Kopfes erzeugten Schall in diesen selbst versetzen, sowie das Trommelfell an seinen Schwingungen vollkommen behindert ist.

Zur Bestimmung der Richtungen des Schalles bedienen wir uns, wie ebenfalls Ed. Weber entdeckte, der Ohrmuschel und der Trommelfellschwingung, und zwar unterscheiden wir das Oben und Unten, das Hinten und Vorn durch das erstere Werkzeug, das Rechts und Links dagegen mittelst des Trommelfells. Nach den Erfahrungen des täglichen Lebens tritt ausserdem noch als das Bestimmungsmittel die verschiedene Intensität des Schalles bei Drehungen des Kopfes um die vertikale und horizontale Achse hinzu, indem wir die Richtung des Schalles in die Verlängerung des Gehörganges bei der Stellung verlegen, in welcher die Empfindung die grösste Stärke erlangt. Von diesem Gesichtspunkt aus erhält auch die Gegenwart zweier Ohren und ihre diametrale Stellung am Kopfe eine Bedeutung.

Die absolute Entfernung der schallerzeugenden Ursache von unserem Ohr empfinden wir nur sehr unvollkommen; die relative beurtheilen wir wahrscheinlich nur nach der verschiedenen Stärke der zu uns dringenden Schallbewegung.

Um die Wirkungen des Trommelfells für die Empfindung der Richtung zu untersuchen, tauchte Ed. Weber den bald mit Luft gefüllten und bald vollkommen mit Wasser gefüllten Gehörgang unter Wasser; in dem ersten Falle, in welchem das Trommelfell noch schwingen konnte, legte der Beobachter den Ort eines Schalles, der im Wasser erregt wurde, noch ausserhalb seines Körpers; auch unterschied er noch die Richtung von rechts oder links, dagegen nicht mehr die von oben und unten. War der Gehörgang aber unter diesen Bedingungen mit Wasser angefüllt, welches die Schwingung des Trommelfells verhinderte, so erschien nun der Ort des Schalles im Kopf selbst zu liegen und es konnte über die Richtung desselben gar nichts mehr ausgesagt werden. — Die Leistungen der Ohrmuschel ermittelte er, entweder durch Untertauchen des Kopfes, wodurch das Urtheil über oben, unten, hinten und vorn verloren geht, oder er legte durch ein Band die Ohrmuschel fest an den Kopf und drückte die Hand vor dem äussern Gehörgang fest auf die Wange, so dass sie ungefähr die Form der Ohrmuschel nachahmt. Unter diesen Umständen kehrt sich die Richtung der Empfindung des vorn und hinten um, so dass der vor der Angesichtsfläche erregte Schall vom Hinterhaupt her zu kommen scheint.

Man glaubte früher nach einer Beobachtung von Dove*) annehmen zu dürfen, dass beide Gehörnerven in ähnlicher Weise wie die identischen Netzhautstellen ihre Empfindungen auf einander übertragen oder ausgleichen könnten. Diese Behauptung soll hier nur erwähnt werden, um darauf hinzuweisen, dass sie von Seebeck**) vollkommen widerlegt ist.

6. Binnentöne.

Töne, denen eine ausserhalb unseres Körpers liegende veranlassende Schallbewegung fehlt, treten sehr häufig ein. Wir zählen zu ihnen: 1. Selbsttönen der Luft des äusseren Gehörganges. Dieses sogenannte Selbsttönen der Luft im äusseren Gehörgang erscheint, wenn durch fremde Körper, Ohrenschmalz etc. der Gehörgang verstopft ist; geringe

*) Repertorium III. 404.
**) Repertor. VIII. Bd. Akustik 107.

Erschütterungen (durch die Kopfknochen ect.) reichen dann hin, um stehende Schwingungen dieser Luft zu veranlassen. Sie verschwinden, wenn die Communication zwischen Atmosphäre und Trommelfell wieder hergestellt ist. — 2. Selbsttönen der Luft der Trommelhöhle. Dieses Tönen erscheint, wenn die tuba Eustachii verstopft ist. — 3. Töne durch Zerrungen am Trommelfell und durch Reibung der Gehörknöchelchen bei Bewegung der Muskeln der Trommelhöhle. Sie sind schon früher erwähnt. — 4. Töne durch Erschütterungen des Felsenbeines mittelst des Arterienpulses. Hierher gehören die klopfenden Töne bei Kopfkongestionen. — 5. Endlich beobachtet man noch sogenannte Binnentöne, die einen zu vollen und reinen Klang zeigen, als dass man ihren Ursprung in einem der erwähnten Umstände suchen könnte. Woher sie rühren, ist unbekannt.

F. *Geruchsinn.*

1. Anatomische Einleitung*). Die Verbreitungsbezirke des n. olfactorius, an welche sich die Geruchsempfindungen knüpfen, sind bekanntlich in eine vorzugsweise verengerte Stelle der Nasenhöhle, nämlich den obern Theil der Nasenscheidewand und die beiden ersten Muscheln gelegt. Die Besonderheit des Baues der Nasenwandungen hierselbst liegen theils in der muscheligen Unebenheit derselben, theils aber in der Gegenwart von besondern Drüsen und Oberhautbildungen. Diese letzteren bestehen nach Beobachtungen von Bowmann aus einem geschichteten Cylinderepithelium, dem hier, im Gegensatz zu dem umgebenden, die Flimmerhaare fehlen. Dieses Epithelium zeichnet sich auch noch durch seine ausserordentlich grosse Zerstörbarkeit, insbesondere durch die von Seiten des Wassers aus; Kölliker. Die Drüsen, welche man in den Verbreitungsstellen des n. olfactorius findet, sind einfache Schläuche, die ihrem Bau nach in der Mitte zwischen den Lieberkühn'schen und Schweissdrüsen stehen; über ihre Absonderungsstoffe ist leider nichts bekannt. Man könnte sich denken, dass die Abwesenheit der Flimmerhaare insofern Bezug auf die Leistungen der Geruchswerkzeuge übe, als dadurch die Luftströmungen und Luftcondensationen auf der Nasenoberfläche verändert würden, und ferner, dass die Gegenwart der Drüsen von Bedeutung sei für die Bildung eines besonderen Lösungsmittels für die Riechstoffe.

2. Erregungsmittel. Zu ihnen zählt man a. Spannungs- und Lagenveränderungen der Nerven, wie sie durch Drücke auf die Nase herbeigeführt werden; Valentin**). Da die Geruchsnerven nur sehr weniger Menschen auf diese Weise erregt werden, so bezweifelt man

*) Kölliker, Handbuch der Gewebelehre 1852. p. 632.
**) Lehrbuch der Physiologie II. Bd. b. 2te Aufl. 292.

die gerucherweckende Leistung der Drücke noch bis dahin*). — b. Electrische Ströme. Gegen diese Angabe macht Schönbein mit Recht geltend, dass es, seitdem er das Ozon aufgefunden, mindestens zweifelhaft erscheinen müsse, ob der Geruch, welchen die Electricität erregt, geradezu von einem Eingriffe des Stromes auf die Nervensubstanz oder von der Entwicklung des Ozons abhängig sei. — c. Eine begrenzte Zahl luftförmiger Atome, die Riechstoffe, sind endlich die gewöhnlichen Erreger des Geruchssinnes. Von welchen Eigenschaften der Atome die gerucherzeugenden Wirkungen überhaupt abhängig sind, ist gegenwärtig noch im Dunkeln; wir wissen nur, dass wenn auch nicht alle Gase zu den Riechstoffen zählen, diese letzteren jedoch, wenn sie riechbar sein sollen, gasförmig in die Nase gelangen müssen; ferner, dass wahrscheinlich die Atome durch ihre chemisch-verwandtschaftlichen Kräfte den Nerven oder dessen Umgebung erregen; wir schliessen dieses daraus, weil das sogenannte unerregte, das gewöhnliche Sauerstoffgas geruchlos ist, entsprechend seinen schwachen Verwandtschaften, während das erregte, das Ozon, sehr kräftig riecht, und weil im Allgemeinen Stoffe mit kräftiger Verwandtschaft, wenn sie Riechstoffe sind, auch sich als intensive Erreger des n. olfactorius auszeichnen.

Zu dem letzten Satz muss aber sogleich die Beschränkung kommen, dass nicht jede Umänderung der Geruchsflächen durch chemische Mittel — also nicht jeder Angriff derselben durch die Verwandtschaft einen Geruch erzeugt, wie die Zerstörungen der Nase durch Aetzmittel darthun. — Ferner, dass die verwandtschaftlichen Kräfte der Geruchsfläche ganz besondere sein müssen, da sonst milde Stoffe, wie z. B. die ätherischen Oele, die Salzverbindungen der Aetherarten und dergl., so intensive Gerüche erzeugen. — Der Untersuchung würdig dürfte es sein, ob man nicht empirisch die scheinbar unsägliche Mannigfaltigkeit der Riechstoffe nach ihren Geruchswirkungen in Gruppen, welche gleichartige Glieder enthielten, zerspalten könnte, deren anderweite chemische und physikalische Analogien zu vergleichen wären. Dieses Unternehmen erscheint nur von dem Gesichtspunkt aus bedenklich, dass derselbe Stoff, je nach der Menge, in welcher er auf den Nerven wirkt, verschiedene Gerüche erregen soll (Valentin**), weniger dagegen von dem, dass nachweislich Stoffe der verschiedensten chemischen Constitution, wie Phosphor, Arsenik und Knoblauch einen ähnlichen Geruch bieten. Mangelhafte Versuche hiezu siehe bei Linné***), Lorrey†) und Fourcroy††)

3. Die Stärke des Geruchs steht in Abhängigkeit von dem Erregbarkeitsgrade der empfindenden Werkzeuge, dem Zustand der den Nerven umgebenden und bedeckenden Theile (Gefässe, Bindegewebe, Drüsen, Epithelien) und der besonderen Einwirkung der Riechstoffe.

Auf die wechselnde Erregbarkeit des empfindenden Theils der Geruchsorgane schliessen wir, abgesehen von der Analogie mit allen

*) Frölich in Valentins Jahresbericht der Physiologie über 1851. 163.
**) l. c. 283 u. 288.
***) Amœnitates academicæ tom. III. 1756. p. 183.
†) Observations sur les parties volatiles et odorants etc. Hist. et memor. de la société royale de méd. 1785. p. 306.
††) Mémoire sur l'esprit recteur etc. Ann. d. chim. 26. Bd.

andern nervösen Theilen, aus Vergiftungen des Nerven und aus den sogenannten Verstimmungen des Geruchs in Nervenkrankheiten.

Strychnin örtlich und innerlich angewendet, soll nicht allein den Geruch in der Art verschärfen, dass man nun Riechstoffe von einer Verdünnung wahrnimmt, in der sie sonst nicht mehr empfunden werden, sondern es soll sich auch die Art der Empfindung ändern. Andere Narkotika, namentlich Atropin und Morphin sind bei örtlichem und allgemeinem Gebrauche ohne Einfluss auf den Geruch; Frölich.

Die Oberhaut, die Drüsen und das Bindegewebe der Geruchsflächen müssen von Einfluss auf die Wechselwirkung zwischen Nerven und Riechstoffen sein. Dieses bedarf einer Erläuterung eben so wenig für den Fall, dass wir uns vorstellen, es dringe der Riechstoff durch diese Umgebungen hindurch zu dem Nerven, als wenn wir annehmen, der Riechstoff trete nur zu den die Nerven umgebenden Stoffen, deren Veränderungen sodann empfunden werden. Von der Art dieses Einflusses auf die Geruchsempfindung sind wir nur wenig unterrichtet; man erläutert aber aus denselben die Thatsachen, dass bei einem vermehrten oder verminderten Erguss der Drüsensäfte in die Nase (bei Trockenheit der Nase und beim Schnupfen) die Schärfe des Geruchssinnes leidet; ferner dass, wenn man in die Nase reines, körperwarmes Wasser einbringt durch welches die Epithelialzellen nachweislich verändert werden, der Geruch für kurze Zeit (1 bis 2 Minuten) ganz aufgehört hat zu bestehen. E. H. Weber*).

Nach der Entdeckung von E. H. Weber lässt sich die Nasenhöhle eines horizontal auf dem Rücken liegenden Menschen für einige Zeit dauernd mit Wasser füllen, da sich auf reflektorischem Wege der arc. pharyngopalatinus vollkommen wasserdicht schliesst. Die Geruchsempfindlichkeit ist nach Entfernung des Wassers für einige Minuten vollkommen aufgehoben, gleichgiltig, ob die Temperatur des Wassers von 0° bis 50° C. schwankt, so dass demnach die Geruch zerstörende Wirkung nur dem Wasser und nicht der Temperatur beigemessen werden muss. — Da die Empfindung so rasch wiederkehrt, so kann man, abgesehen von den schon erwähnten Gründen der Leichtveränderbarkeit der Zellen, die Unterbrechung der Thätigkeit des Geruchsorganes nur von einer Umwandlung in der Beschaffenheit der obersten Zellenlage ableiten, welche mit Wasser durchtränkt den Riechstoffen den Durchgang erschwert. Hiermit wäre es vielleicht in Uebereinstimmung, dass bei diesem Verfahren Essigsäure, Aether und Ammoniak (in Wasser lösliche Stoffe) früher wieder empfunden werden, als ätherische Oele; Valentin. — Aus diesen Beobachtungen erklärt sich nun auch die Mittheilung von Tourtual, welche E. H. Weber vervollkommnete, dass Riechstoffe in flüssiger Form, z. B. verdünntes köllnisches Wasser in die Nase gebracht, gar keine Geruchsempfindung erzeugen.

Endlich üben einen Einfluss auf die Stärke des Geruchs die Menge der in den Geruchsflächen verbreiteten Riechstoffe, die Dauer ihrer Anwesenheit daselbst, die Richtung und Stärke der durch die Nase gehenden Luftströme. α) Die Menge des gleichzeitig in den Geruchsflächen vorhandenen und demnach auf die Nerven wirkenden Stoffes kann geradezu nicht bestimmt werden; man schätzt sie dagegen ent-

*) Müllers Archiv 1847. p. 351

fernt angenähert aus der Menge von Stoff, welche in einem gegebenen Luftvolum enthalten war, das in der Zeiteinheit bei einer Einathmung durch die Nase strich. Aus solchen Schätzungen schliesst Valentin*), dass wenn gleichzeitig auf den Geruchsflächen vertheilt sind noch weniger als 0,0016 Milligram Brom, 0,02 M.G. Phosphorwasserstoff, 0,002 M.G Schwefelwasserstoff, 0,00005 M.G. Rosenöl deutliche Empfindung entstehe, dass Moschus aber in noch viel geringerer Menge schon stark rieche. Diese Thatsachen zeigen nicht allein, dass eine grosse Feinheit der Geruchsreaktion, sondern auch, dass eine Scala der Verschiedenheit für die Wirksamkeit der Riechstoffe besteht; es bleibt zweifelhaft, ob dieses herrührt von dem Widerstand, den die Umgebungen des Nerven dem Durchdringen der Riechstoffe entgegen stellen, oder von einem eigenthümlichen Verhalten der Nerven selbst. In welchem Verhältniss mit der Menge der in der Nase vorhandenen Riechstoffe die Stärke des Geruches wächst, wissen wir begreiflich nicht; nur das ist bekannt, dass wenn wir mit nur einer Nasenhälfte riechen, die Empfindung schwächer ist als bei Einziehen der Luft in beide Nasenöffnungen. — β) Die Dauer der Anwesenheit eines Riechstoffes wirkt nach entgegengesetzten Richtungen bestimmend auf die Geruchsstärke. Einmal steigert sich, namentlich bei sehr verdünnten Riechstoffen mit der Dauer ihrer Anwesenheit die Intensität des Geruchs (Valentin), dann aber nimmt allgemein mit der Dauer der Einwirkung die Geruchsintensität ab. Diese Abstumpfung führen im Allgemeinen dichtere Riechstoffe eher herbei als verdünnte; einzelne Substanzen, wie z. B. conzentrirter Moschus, sollen nach Valentin so vernichtend wirken, dass der Zeitraum, in dem sie Empfindung erregen, verschwindend klein ist. Aus dieser Eigenschaft der Geruchswerkzeuge erläutert sich vielleicht auch die Erscheinung, dass die von dem riechenden Individuum selbst dauernd ausströmenden Gerüche nicht empfunden werden. γ) Luftströme, welche mit riechenden Stoffen geschwängert sind, erzeugen vorzugsweise Empfindungen, wenn sie mit einer grossen Beschleunigung durch die Nase in der Richtung von vorn nach hinten dringen; demgemäss erweitern wir unwillkürlich die Nasenmündung und ziehen rasch und stossweise die Luft ein, wenn wir einen Gegenstand auf seinen Geruch prüfen wollen. Man darf nach den vorliegenden Thatsachen schliessen, dass die nächste Wirkung der rascheren Luftströme darin bestehe, die Geruchsflächen auf eine vollkommenere Art mit den Riechstoffen in Berührung zu bringen, indem theils durch den Anstoss des Stromes und theils durch die Reibung desselben ein die Absorption befördernder Druck erzeugt wird. Ob sich aus diesem Gesichtspunkt auch die Thatsache erläutern lässt, dass die aus der Lunge kommenden Luftströme weniger geeignet sind, die Geruchsempfindung zu erwecken, als die in die Lunge tretenden, bedarf genauerer Untersuchungen.

*) l. c. p. 281 u. f.

Den Einfluss der Richtung und Stärke der Luftströmung auf den Geruch hat besonders Bidder*) behandelt; er zeigte, dass beim Fehlen der untern Nasenmuschel, also bei mangelnder Beengung der Stromröhre, der Geruch abgeschwächt wird: ferner dass beim Anblasen von riechenden Substanzen gegen die Riechflächen die Empfindung fehlt oder schwach wird; ferner dass der in die Nasenhöhle gehaltene Kampfer, während des Anhaltens der Athmung einen sehr schwachen Geruch gibt, der sich aber sogleich beim Einziehen von Luft steigert, und endlich dass, wenn man Kampfer in die Mundhöhle bringt und gleichzeitig durch die Nase die Luft ausstösst, eine nur schwache Empfindung auftritt.

4. Der Zeitraum, welcher verfliesst, bevor die Geruchsempfindung erscheint nach dem Einbringen eines riechenden Luftstromes in die Nase, ist noch nicht bestimmt; eben so wenig als die Dauer der Empfindung nach Entfernung der Riechstoffe und die Geschwindigkeit, mit der im Geruchsorgan die Empfindung wechseln kann. Wir haben Ursache, zu vermuthen, dass alle diese Zeiträume einen verhältnissmässig beträchtlichen Werth besitzen.

5. Das Objekt der Geruchsempfindung legt die Seele geradezu in den Luftstrom, welcher in die Nase dringt; insofern wir im Stande sind, die örtlichen Verhältnisse dieses zu schätzen, vermögen wir auch den Ort und die Richtung im Gange des Riechstoffes durch die Nase zu bestimmen.

6. Vermischung der Geruchsempfindung zweier verschiedener Riechstellen, und der Gerüche mit Gefühls- und Geschmacksempfindungen. — α) Strömt in jedes der beiden Nasenlöcher gleichzeitig ein verschiedener Geruch, so vereinigen sich, nach Valentin, die beiden Gerüche nicht zu einem mittleren, sondern es entsteht ein wechselndes Eintreten bald des einen und bald des andern Geruchs in die Empfindung. — β) Gefühle und Gerüche, die von ein und derselben Substanz in der Nase erweckt werden, combiniren sich dagegen zu einer zusammengesetzten Empfindung; Beispiele hierfür bieten die zugleich riechenden und ätzenden Stoffe wie das Ammoniak, die Essigsäure u. s. w. Man empfindet in der That die Wirkungen zum Theil wenigstens gesondert, wenn man die erwähnten Substanzen bei angehaltenem Athem in die Nase bringt; sie ätzen dann den n. trigeminus und regen zugleich die von ihm abhängigen Reflexe (Thränenlaufen, Niessen) an, ohne dass wir die Substanzen riechen, Bidder. γ) Eben so häufig verschmelzen Geruch- und Geschmackempfindungen zu einer einzigen; wir werden beim Geschmack hierauf zurückkommen.

7. Wie sich unmittelbar mit den Empfindungen des n. opticus Raum- und mit denen des n. acusticus Zeitvorstellungen verknüpfen, so verbindet sich die Geruchsempfindung gewöhnlich mit einer leidenschaftlichen Stimmung, welche sich entweder begehrend oder abstossend gegen das Geruch ausströmende Objekt verhält; die-

*) Wagners Handwörterbuch II. Bd. p. 920. Siehe jedoch auch Longet, Traité de physiologie. Paris 1850. p. 159 u. f.

sem Umstande verdankt man es, dass die Ausdrücke angenehmer, widerlicher u. s. w. Geruch selbst beim Gebildeten weitaus die Oberhand haben über die stoffliche Bezeichnung der Geruchsempfindung. Die Leidenschaften, welche bestimmte Gerüche erwecken, sind aber bekanntlich nicht immer dieselben, so dass einen Geruch jedesmal den Durst, Hunger, Geschlechtstrieb u. s. w. auslösste, sondern sie erregen nach der gerade gegenwärtigen Seelenstimmung bald Ekel und bald Durst u. s. w. Wir heben diesen Punkt hier nur hervor, um darauf aufmerksam zu machen, dass man ihn im Gegensatz zu den gewöhnlichen Darstellungen des Geruchssinnes, trenne von der unmittelbaren Beziehung zwischen Riechstoffe und Riechwerkzeugen. Im Einzelnen lässt sich über diese merkwürdigen Erscheinungen noch nichts sagen.

8. Binnengerüche. — Ohne dass die Atmosphäre geruchausströmende Stoffe enthält, entstehen doch häufig Geruchsempfindungen. In der Mehrzahl der Fälle können dieselben zurückgeführt werden auf die Gegenwart von Riechstoffen in den Lungen, der Mundhöhle, der Nase, welche aus dem Blute, oder auf irgend welche andere Art, hier abgesetzt sind. Seltener ereignet es sich, dass im Hirn Zustände eintreten, welche zum Geruch Veranlassung geben; Träume, in denen der Geruch eine analoge Rolle spielt, wie Gesicht, Gehör und Gefühl, kommen, wenn überhaupt, gewiss sehr sparsam vor.

G. *Geschmacksinn.*

1. Anatomische Einleitung*). Die Flächen, die den Geschmack zu empfinden vermögen, sind noch nicht festgestellt; nach allgemein übereinstimmenden Angaben gehören zu den Trägern des Geschmackssinnes die Wurzel, die Ränder und deren nächste Umgebung auf Ober- und Unterfläche, die Spitze der Zunge und ein Theil der Vorderfläche des weichen Gaumens; nach bestrittenen Aussagen rechnet man aber auch dazu den Ueberzug der Mandeln, den Pharynx und endlich sogar die hintere Fläche des weichen Gaumens und den Schleimhautüberzug der Sublingualdrüsen.

Da es keine sichere anatomische Merkmale für die Ausdehnung dieses Sinnes gibt, wie sie Gesicht, Gehör, und Geruch zukommen, und da die Nerven, an deren Verbreitung sich der Geschmack kettet, nicht durchweg bekannt sind, so muss die Vergleichung der Mundschleimhaut mit schmeckenden Stoffen in Anwendung gebracht werden, um die Orte unseres Geschmackssinnes zu ermitteln. Diese Versuche haben mit manchen Schwierigkeiten zu kämpfen: α) Viele Empfindungen die sich aus einer Combination von Gerüchen und Tastempfindungen der Mundhöhle zusammensezzen, werden als Geschmack gedeutet; die Versuche müssen darum entweder mit geruchlosen Stoffen angestellt werden, oder die Nasenlöcher müssen gut verstopft sein. β) Viele Stoffe bedingen ganz besondere mechanische Umänderungen der Mund-

*) Longet, Traité de physiol. II. Bd. a. 165. — Bidder, Art. Schmecken in Wagners Handwörterbuch III. Bd. a.

höhle, z. B. Verschrumpfungen, Anätzungen, Abkühlungen u. s. w., die mit einem eigenthümlichen Gefühl empfunden werden; darum sind die Stoffe in mundwarmen Lösungen anzuwenden, welche weder rasch verdunsten, noch am Zahnfleisch, der Wangenfläche, oder überhaupt an Orten, die nachweislich nicht schmecken, die bezeichneten Gefühle hervorrufen γ) Nicht alle Geschmacksmittel scheinen überall, wo überhaupt die spezifische Empfindung vorhanden ist, wirksam zu sein; es müssen darum jedesmal zur Prüfung verschiedene, mit entgegengesetzten Geschmäcken begabte Stoffe in Anwendung gebracht werden. δ) Die schmeckenden Flächen der Mundhöhle finden sich bei demselben Menschen nicht zu allen Zeiten in einem Zustand, der sie zur Geschmacksempfindung befähigte, es sind darum entweder gleichzeitig viele Menschen oder es ist derselbe Mensch zu verschiedenen Zeiten zu untersuchen. ε) Da die Prüfungsmittel in wässeriger Lösung angewendet werden müssen, die Geschmacksflächen aber mit capillaren Räumen überzogen sind, welche die Verbreitung der Flüssigkeit begünstigen, und da endlich die Geschmacksempfindungen nur lebhaft hervortreten, wenn die Schmeckstoffe über die Schleimhautflächen hin bewegt werden, so bietet die willkürliche Beschränkung der einwirkenden Stoffe Schwierigkeiten. Um diese zu erzielen, bedient man sich der befeuchteten Pinsel und Schwämme, schmeckender Pasten, die man in beschränkten Räumen bewegt, oder man bedeckt mit Wachstafft und dergl. einzelne Theile der Zunge und des Gaumens, während man andere mit Flüssigkeiten bestreicht. Sollten sich die elektrischen Erregungsmittel nicht vorzugsweise zur Prüfung eignen?

Da auch Flächen, welche keine Papillen besitzen, Theil am Geschmackssinn nehmen, so versteht es sich von selbst, dass die Papillen nicht die Bedingungen für ihn enthalten; ob nicht dennoch aber an dem Orte, wo sie vorkommen, die Papille von Bedeutung ist für Modifikationen des Geschmackes, kann nicht entschieden werden.

Die alte Streitfrage, ob die Geschmacksnerven nur in der Bahn des n. glossopharyngeus oder zugleich auch in der des ram. III. n. trigemini laufen, muss so lange als unerledigt angesehen werden, als nicht in alle Geschmacksflächen, wie namentlich in die Zungenspitze, die Röhren aus den Zungenschlundkopfnerven verfolgt sind, oder aber bis sichere mit allen Cautelen angestellte Beobachtungen an Individuen mit örtlichen Verletzungen des n. glossopharyngeus oder des ram. III. n. trigem. vorliegen, welche zeigen, dass nach Abtödtung des ersten Nerven der Geschmack überall erloschen oder nach Vernichtung des zweiten der Geschmack überall erhalten ist.

2. Erreger der Geschmacksempfindung*). Der Sprachgebrauch des gewöhnlichen Lebens ertheilt den Namen „Geschmack“ einer grössern Reihe von Empfindungen, denen er im strengeren Wortsinn nicht zukommt; namentlich werden Verknüpfungen von Temperatur- oder Geruchseindrücken mit Tastempfindungen der Mundhöhle geradezu als Geschmäcke bezeichnet, und ausserdem Verknüpfungen von Temperatur- Tast- und Geruchseindrücken, mit wahren Geschmacksempfindungen, mit Besonderheiten der Geschmäcke, verwechselt. Wie häufig dieses in der That geschieht und wie sehr die eben so oft ausgesprochene als auch wieder vernachlässigte Meinung begründet ist, dass die kühlenden, brennenden, stechenden, aromatischen Geschmäcke gar nicht als besondere Empfindungen der oben genannten Flächen bestehen, lehrt tausendfältige und tägliche Erfahrung. Wenn man beim

*) Chevreul. Journal de physiol. experimentale tom. IV. 1824.

Genuss aromatischer, ätherisch-öliger Mittel, z. B. des Knoblauchs, des Zimmts, der Vanille u. s. w., die Nasenöffnungen mit dem Finger schliesst. In dem Moment, in welchem dieses geschieht, wird auch der aromatische Geschmack ausgelöscht, der aber zurückkehrt so wie die Nase der Luftströmung wieder geöffnet ist. Brennende, kühlende und schrumpfende Geschmäcke können aber gleichgut auf den Lippen, dem Zahnfleisch, kurz in jeglichem Mundtheil hervorgerufen werden, wie auf den Geschmacksflächen; Chevreul. Da man nun auch in den physiologischen, den Geschmack betreffenden Untersuchungen sehr häufig diesen Punkt vernachlässigte, so dürften in den folgenden Mittheilungen öfter Unrichtigkeiten enthalten sein. Als Erreger der Geschmacksempfindung zählen nun:

a. Galvanische Ströme*). Diese Strömung erregt an dem Orte ihres Eintritts in die Geschmacksfläche eine saure und an dem des Austritts entweder keine oder eine schwache kalische Empfindung, eine Empfindung, welche nach Versuchen von Volta und Monro unabhängig von den in dem galvanischen Strom erscheinenden electrolytischen Produkten der Mundflüssigkeit ist. — Ueber die besondere Beziehung des Geschmacks zu der Richtung und Intensität der Strömung gibt es bis dahin nur wenige Aufschlüsse; die in der Zunge (von der Spitze zur Basis) aufsteigende Stromrichtung soll stärker (oder sogar anders schmeckend?) wirken, als die absteigende; Pfaff. Obwohl der Geschmack während der ganzen Dauer einer geschlossenen Kette anhält, so sollen doch Schwankungen in der Intensität des Stroms wie namentlich das Oeffnen desselben eine Verstärkung erzeugen; Ritter und Lehot.

Legt man einen metallischen Bogen aus Kupfer und Zink an die Zunge, so dass das Zink die Zungenspitze und das Kupfer den Zungenrücken berührt, so entwickelt sich deutlich saurer Geschmack am Zink; da hier nun auch aus dem Speichel Säure ausgeschieden wird, welche diese Empfindung hätte erzeugen können, so muss, wenn gezeigt werden soll, dass der Strom geradezu, d. h. unabhängig von den Zersezzungsprodukten die Empfindung erregt, in die Umgebung des Zinkpoles eine alkalische Flüssigkeit gebracht werden, in welche die Zunge getaucht wird. Volta, der diese Modifikation des Versuchs ausführte, erhielt dann ebenfalls noch den sauren Geschmack. Andere beweisende Versuche siehe noch bei du Bois. — Dieser Geschmackserreger bedarf neuer Untersuchungen.

b. Eine gewisse Zahl von Flüssigkeiten gehört ebenfalls zu den Geschmackserregern; ihr allgemeines Merkmal, den geschmacklosen Flüssigkeiten gegenüber, ist unbekannt.

A. Die Art der Empfindung. α) Zunächst ist diese bestimmt von der chemischen Natur der Flüssigkeit; unter dieser ist hier jedoch keineswegs die Qualität und Quantität der Atome, aus der das Schmeckbare

*) du Bois-Reymond l. c. 1. Bd. p. 287 Anmerk. u. p. 339.

zusammengesetzt ist, zu verstehen, sondern gewisse allgemeine Categorien der Verwandtschaft. Denn es erzeugen z. B. den Geschmack des Sauren, des Kalischen, des Metallischen, des Salzigen Stoffe der allerverschiedenartigsten chemischen Zusammensetzung, wie z. B. Kali und Stibmethyliumoxyd, Schwefel- und Essigsäure, Eisen- und Kupfersalze u. s. w.; gleichschmeckende Stoffe haben dagegen in dem etwas gemeinsames, was man ihr electrochemisches Verhalten nennt. Für mehrere Geschmäcke fehlt uns aber auch noch dieses gemeinsame Merkmal, wie z. B. für das Süsse und Bittere; wir wissen insbesondere nicht welches gemeinsame Merkmal den Süssigkeiten des Zuckers, Glycerins, Glycocolls, Plumbum aceticum u. s. w. und anderseits den Bitterstoffen Chinin, Salicin, der Magnesia sulfurica u. s. w. zukommt. Bemerkenswerth für die Beziehung zwischen den Verwandtschafts- und Geschmacksäusserungen der Atome ist noch die Erscheinung, dass jedes Atom neben dem allgemeinen Geschmack des Sauren, Metallischen u. s. w. noch einen besonderen Beigeschmack besitzt, analog den Besonderheiten der Verwandtschaft, die jedes Atom vor andern voraus hat.

Da das Geschmacksorgan ein vielseitigeres und ebenso allgemeines, wenn auch kein so empfindliches chemisches Reagens ist, wie das Lakmuspapier, so würde es schon im chemisch-technischen Interesse sein, die Geschmäcke genauer als bisher zu prüfen, und Geschmacksreihen aufzustellen, in die man begreiflich nur die entschieden schmeckenden, chemisch reinen Verbindungen aufzunehmen hätte. Bei diesem Verfahren wäre ausser andern erwähnten Vorsichtsmassregeln noch Rücksicht zu nehmen auf die Speichelzersetzung, deren Einfluss schon Chevreul gewürdigt hat.

β) Der Ort der Empfindung soll in der Weise auf den Geschmack Einfluss üben, dass ein und derselbe Stoff an der Spitze ganz anders schmeckt als an der Basis der Zunge oder an den Gaumenflächen; Horn*). So sollen namentlich der Zungenspitze mehrere Stoffe süss oder sauer erscheinen, die der Gegend der umwallten Warzen bitter vorkommen. Dieser Geschmackswechsel desselben Stoffes auf verschiedenen Flächen unseres Sinnes gilt nun wohl nicht in der Ausdehnung, wie ihn Horn zuerst behauptete, jedoch ist er für einzelne Stoffe, namentlich für Salze, ausgesprochen genug. Auch dieser Gegenstand verdient neuere und ausgedehntere Untersuchung.

Als Beispiele seien hier erwähnt:

Stoff.	Zungenspitze.	Zungenwurzel.	Stoff.	Zungenspitze.	Zungenwurzel.
$KO\overline{A}C$	brennend sauer	fadbitter	Alaun	sauer zusammenziehend.	süsslich ohne Säure
Na Cl	salzig	süsslich (?)	$NaOSO_3$	salzig	bitter.

B. Die Intensität der Geschmacksempfindung bei Gegenwart flüssiger Erreger ist abhängig von sehr zahlreichen Umständen und zwar

*) Ueber den Geschmackssinn der Menschen. Heidelberg 1825. Siehe einen Auszug mit Tabelle in Valentins Lehrbuch der Physiol. II. b. 301. — Guyot u. Admirault bei Longet l. c. p. 166.

α) von dem Erregbarkeitszustand des Nerven, wie wir mehr vermuthen als sicher wissen. — β) Von dem Ort der Erregung, indem nach Guyot und Admirault gewisse Stoffe (Milch, Butter, Oel, Brod u. s. w.) auf der Zungespitze gar nicht, dagegen im Gaumen, und der Zungenwurzel sehr intensiv schmecken sollen. Auf welche Art von Schätzung sich der gewöhnliche Ausspruch gründet, dass die Zungenspitze, oder nach andern der Gaumen, vorzugsweise fein schmecke, ist nicht angegeben. — γ) Die Menge der gleichzeitig erregten Röhren der Geschmacksnerven; wir schmecken bekanntlich einen Stoff der unsre ganze Mundhöhle ausfüllt intensiver, als einen solchen der nur wenige Stellen der Zunge berührt. Der Unterschied von mehr oder weniger gleichzeitig erregten Nerven zeigt sich namentlich darin, dass sehr verdünnte wässrige Lösungen schmeckender Stoffe keine Empfindung mehr erregen, wenn sie in geringer Menge in den Mund genommen werden, während sie in grössern Quantitäten deutlich schmecken; Valentin. — δ) Zeitdauer der Einwirkung; der Geschmack steigt zuerst mit der Dauer der Anwesenheit des schmekkenden Stoffes und nimmt dann mit ihr ab, analog den Empfindungen der übrigen Sinne. — ε) Die Empfindung wird gesteigert durch den Contrast, d. h. wenn Stoffe, welche verschieden schmecken, in rascher zeitlicher Folge die Geschmacksnerven treffen. — ϑ) Zustände der absondernden Drüsen der Mundhöhle und ihrer Säfte, des Epithelialüberzugs, des Wassergehaltes; der Blutgefässfüllung, der Temperatur der Geschmacksflächen. Die Wirkungen dieser Umstände sind nur sehr oberflächlich bekannt; Kälte und Trockenheit des Mundes, Zungenbeleg, gelinde Entzündungen der Mundhöhle vermindern die Empfindlichkeit, wahrscheinlich nur darum, weil sie die Wechselwirkung der Nerven und des Erregers beeinträchtigen. — η) Die Stärke des Geschmacks wächst mit dem Procentgehalt einer Lösung an schmeckbaren Stoffen. Nach Valentin*) liegt für wässerige Lösungen von Zucker zu 1,2 pCt.; von NaCl zu 0,2 bis 0,5 pCt.; von SO_3 zu 0,001; von schwefelsaurem Chinin zu 0,003 pCt. die Grenze der Schmeckbarkeit, vorausgesetzt dass die Stoffe unter den günstigsten Bedingungen in die Mundhöhle gebracht wurden. — ζ) Die Fähigkeit des Schmeckens wird unterstützt durch Bewegungen, welche die schmeckenden Flächen und Stoffe aneinander vornehmen, wie durch Zungen- und Gaumenbewegung oder durch Einpinseln der Schmeckstoffe auf Gaumen und Zunge.

3. Geschwindigkeit des Eintrittes des Geschmacks; Nachgeschmack, Wechsel des Geschmackes sind Namen die mehr auf zukünftige, als schon begonnene Untersuchungen deuten.

4. Die Verbindungen der Leistungen der Geschmack-, Geruch- und Tastnerven zu einer einzigen Empfindung ist noch niemals einer

*) Lehrbuch der Physiologie II. Bd. b. p. 301.

genauen Untersuchung unterworfen gewesen; aus den Thatsachen des gewöhnlichen Lebens scheint aber zu folgen, dass nur der Geruch als eine Erregung der Geschmacksnerven empfunden wird, dessen erzeugender Luftstrom von der Mundhöhle ausgeht, während gleichzeitig die Tastnerven des Mundes in energischer Weise erregt sind. Durch die Verknüpfung der Tast- und Geschmacksempfindung scheint uns die Vorstellung der Oertlichkeit im Geschmackssinn zu entstehen; denn wir schmecken bekanntlich jedesmal zugleich den Ort der Berührung zwischen Schmeckstoff und Geschmackflächen.

4. In fast noch höherm Grade als an den Geruch knüpfen sich an den Geschmack leidenschaftliche Vorstellungen, die auch hier sehr häufig, selbst für Physiologen den Beweggrund abgeben von angenehmen, widerlichen, ekelhaften Geschmäcken zu sprechen, obwohl alle diese Worte keine unmittelbare Geschmackseindrücke bedeuten, sondern sich auf Vorstellungen beziehen, die der Geschmack erweckte. — Zugleich sind die Geschmacksnerven reflektorisch mannigfach verkettet, wie z. B. mit Speichelnerven, den Nerven der Schlingorgane zum Einleiten des Schlingens und Brechens u. dgl. Treten solche reflektorische Wirkungen neben den Geschmäcken ein, so entstehen besondere weiter combinirte Gefühle, z. B. der Ekel und dgl., die man ebenfalls häufig mit einfachen Geschmacksempfindungen verwechselt hat.

Binnengeschmäcke, denen eine andere Ursache als eine Veränderung in der Zusammensetzung der Mundsäfte zu Grunde liegt sind nicht bekannt. Geschmacksträume sind ebenfalls nicht beobachtet.

H. *Gefühlsinn.*

Alle *) Massen und Flächen des menschlichen Körpers, welche aus den hinteren Spinalwurzeln und den empfindlichen Stücken der Nn. trigeminus, glossopharyngeus, vagus und accessorius ihre Nerven erhalten, bringen gewisse Veränderungen ihrer Zustände unter der besondern Empfindung des Gefühls zum Bewusstsein. Die Gefühle aller dieser Körperregionen zeigen nun unter gewissen Umständen eine vollkommene Uebereinstimmung; unter andern Bedingungen weichen dagegen die Gefühle einer Reihe von Oertlichkeiten beträchtlich ab von denen der übrigen. Die Uebereinstimmung liegt darin, dass alle fühlenden Orte Schmerz empfinden; die Verschiedenheit begründet sich aber dadurch, dass eine beschränkte Zahl von Stellen des menschlichen Körpers neben dem Schmerze auch noch die Temperatur- und Druckempfindung erzeugt. Die Stellung der Nerven zur Seele, wenn sie schmerzen, zeichnet sich vor der mit noch andern Gefühlen begabten, auch dadurch aus, dass sie weniger deutliche Vorstel-

*) E. H. Weber Artikel Tastsinn in Wagners Handwörterbuch.

lungen der empfindenden Oertlichkeit veranlassen; darum nennt man ihre Empfindungen auch wohl Allgemeingefühl im Gegensatz zu den deutlicheren Gefühlen des Druck-, Tast- und Temperatursinnes. —

A. Schmerz, Gemeingefühl.

Zur Schmerzempfindung sind alle Orte befähigt, in welchen sich Enden und Stämme der oben erwähnten Nerven finden; da er nicht der Art, sondern einzig der Stärke nach veränderlich ist, so beziehen sich unsere Betrachtungen auch zunächst nur hierauf.

1. Erreger. a. Elektrizität;*) sie erzeugt sowohl als constanter galvanischer, wie als schwankender oder momentaner Strom (Induktions- und Reibungselektrizität) Schmerzen; mit Rücksicht auf den Nerven ausgedrückt, begleitet also nicht allein die negative Schwankung, sondern auch die dipolare Anordnung seiner Molekeln den Schmerz. — In dem ersten Falle wächst der Schmerz mit der Stärke und Dichtigkeit des Stroms, und im zweiten mit der Grösse der Schwankung, d. h. mit der in der Zeiteinheit sich abgleichenden Elektrizitätsmenge. — Die Stärke des Schmerzes, welchen die Schliessung und Oeffnung der Kette, oder ein elektrischer Funke erzeugt, ist immer beträchtlicher als diejenige, welche von der geschlossenen Kette abhängt. Innerhalb dieser letztern tritt der Schmerz vorzugsweise an der Körperstelle auf, die vom negativen Pol berührt wird.

Mit je mehr Funken man eine mit Stanniol überzogene Glasplatte lädet, um so schmerzhafter wird der Schlag, welchen sie bei der Berührung ertheilt. Wenn man zwei Platten von ungleicher Grösse so mit Electrizität füllt, dass die Spannung in beiden gleich ist, mit andern Worten, dass das Verhältniss zwischen der aufgehäuften Elektrizität und der Oberfläche der Platten in beiden dasselbe ist, so schlägt die grössere Platte stärker als die kleinere. Hieraus folgt auch erfahrungsgemäss, dass Elektrizität von demselben Spannungsgrade einen Schlag mitzutheilen oder nicht mitzutheilen vermag, je nachdem sie auf einer grossen oder kleinen Platte vertheilt war. Schliesst man mittelst der befeuchteten Finger eine constante galvanische Säule von vielen Plattenpaaren, so empfindet man den Schmerz während ihrer Schliessung zunächst nur an den Fingern; steigert man die Summe der Kettenglieder, so erstreckt er sich auch gegen den Arm in der Art, dass er an der Hand schwach, am Handgelenke stark, am Vorderarm schwach, am Ellbogengelenk wieder stark auftritt. Die Ursache dieser Erscheinungsreihe sucht man darin, dass der electrische Strom an den schmerzenden Stellen dichter ist; man vermuthet aber eine grössere Dichtigkeit, weil man einzelne Bestandtheile der Gelenke (Knorpel oder andere) für schlechtere Leiter ansieht, als die Haut, Knochen und Muskeln.

b. Chemische Atome; von ihren schmerzerregenden Eigenschaften ist nur bekannt, dass die verschiedensten Stoffe und Verwandtschaftskategorien, nämlich alle Arten von Säuren, Alkalien, Salze, Alkohol, gepaarte Basen etc., im Stande sind Schmerzen zu erregen, wenn sie in einiger Conzentration auf den Nerven wirken. —

c. Temperaturen. Die Zunahme sowohl als die Abnahme der normalen Körpertemperatur bedingt bekanntlich Schmerzempfindung,

*) Du Bois-Reymond 283 und 354.

wenn die Abweichung einen nicht zu beschränkten Werth erreicht; wie bedeutend die Temperatur des Nerven zu dem Ende steigen oder sinken muss, ist nicht ermittelt. Nach Beobachtungen von E. H. Weber ist eine Steigerung der Oberhauttemperatur auf 48 bis 49° C. und eine Erniedrigung derselben auf 12 bis 11° C. hinreichend um Schmerz zu erregen. Ausserdem lehrt *α.* die tägliche Erfahrung, dass, alles Andere gleichgesetzt, der Schmerz innerhalb gewisser Grenzen, um so heftiger wird, je höher, bezüglich je tiefer die einwirkende Temperatur ausfällt. Mit irgend einem noch näher zu bestimmenden Werth der Temperaturerniedrigung, oder ihrer Erhöhung scheint dagegen die Schmerzempfindung ihr Maximum zu erreichen, so dass dann mit noch weiter getriebenem Steigen oder Sinken der Temperatur keine weitere Steigerung der Schmerzempfindung proportional geht. *β.* Aus den Beobachtungen von E. H. Weber geht hervor, dass, alles andere gleichgesetzt, der Schmerz anfänglich mit der Einwirkungsdauer der erregenden Temperatur wächst und dann auch wieder mit ihr abnimmt.

Begreiflich kann aus der Temperatur der Oberhaut oder gar des Mediums z. B. des Wassers, in welches ein Glied eingetaucht wird, die Temperatur der Nerven nicht erschlossen werden, da die Temperatur, die Wärmeleitung u. s. w. des in dem Nervenlager strömenden Blutes, ebenfalls bestimmend für den Wärmegrad des Nerven mit eintritt. Schon aus diesem Grund dürfte es schwer oder besser unmöglich sein, den Temperaturgrad anzugeben, den ein Medium besitzen muss, damit ein in dasselbe eingetauchtes Glied verschiedenen Menschen Schmerz erzeugt; denn je nachdem das Blut in einem Gliede mehr oder weniger rasch kreisst oder gleichzeitig in grösseren Mengen vorhanden ist, oder endlich eine etwas niedere oder höhere Eigenwärme besitzt, wird es im Stande sein dem Eindringen einer fremden Temperatur, einen grösseren oder geringeren Widerstand entgegen zu setzen. — Die Steigerung des Schmerzes mit der Dauer der Temperatureinwirkung hat man verschieden erklärt: 1.) Man nahm an, dass mit der Zeit erst die Wärme oder Kälte in einem zur Schmerzerzeugung nöthigen Grad zu den Nerven dringe. Diese Annahme kann für sich geltend machen, dass geringere Abweichungen von der Normaltemperatur der Nerven, längere Zeit einwirken müssen um Schmerz zu erzeugen, als diess bei beträchtlichen Abweichungen nöthig ist. Geringere Abweichungen werden aber aus bekannten Gründen nur langsamer eine Veränderung der Normaltemperatur herbeiführen. — 2.) Erklärte man die Erscheinung, dass sich die schmerzerregenden Eigenschaften der Temperatur mit der Zeit steigern, daraus, dass sich die in den Nerven zeitlich getrennten Wirkungen im Hirn summiren. Diese Hypothese ist vorerst unerweisbar, aber auch unwiderleglich. — 3.) Endlich glaubte man auch annehmen zu dürfen, dass durch die längere Dauer der einwirkenden Temperatur nicht allein der Wärmegrad der zunächst berührten Nerven, sondern auch der unter der Haut gelegenen Stämme verändert werde; diese Hypothese macht die alsbald zu besprechende Thatsache für sich geltend, dass die Schmerzhaftigkeit der Empfindung mit der Ausbreitung der erregenden Ursache wächst. — Die Abnahme der Schmerzhaftigkeit bei noch längerer Fortsetzung der Einwirkung des erregenden Mittels erklärt sich aus der Abstumpfung der Empfindlichkeit überhaupt. —

d. Mechanische Einwirkungen. Welche Veränderung der Nerv unter dem Einfluss mechanischer Gewalten erlitten haben muss, um Schmerz zu erregen, ist unbekannt; es steht hier nur fest, dass nicht jede Verstümmelung des Nerven schmerzhaft ist; denn ein rasch

durchschnittener Nerv erzeugt während und nach seiner Trennung kaum einen Schmerz, den selbst schwache aber anhaltende Zerrungen und Drücke der Haut sehr heftig erregen. —

Ausser von den Erregern und von der Erregbarkeit ist Stärke des Schmerzes noch bedingt von der Ausbreitung und dem Orte der Einwirkung des Erregers. — Denn a. mit der Summe der gleichzeitig erregten Primitivröhren wächst der Schmerz. Diese Thatsache weist auf eine Summirung der in den einzelnen Primitivröhren vorkommenden Erregung durch die Empfindungsorgane hin; E. H. Weber. — b. Derselbe Angriff auf eine gleich grosse Zahl von Primitivröhren desselben Nerven erscheint schmerzhafter, wenn man das Erregungsmittel auf die normale Verbreitungsstelle, als wenn man es auf den Stamm des Nerven anwendet. Pag. 140.

Die Beweise für die erste dieser Angaben hat E. H. Weber geliefert, zu den bemerkenswerthesten, unter seinen auf unsern Gegenstand bezüglichen Versuchen dürfte der gehören, dass eine Flüssigkeit, deren Temperatur + 48° oder + 12° C angenähert ist, nur dann Schmerzen erzeugt, wenn man die ganze Hand in sie taucht, während beim Eintauchen nur eines Fingers kein Schmerz entsteht. — Die zweite Behauptung ist aus der Thatsache abstrahirt, dass chemische und mechanische Erregungsmittel, welche man auf den ganzen plexus ischiadicus des Frosches anwendet, weniger auffallende Reflexbewegungen erzeugen, als wenn man sie beschränkt auf die Schwimmhaut anwendet. — Von dem Einfluss, den die Verbreitung des Nerven auf sein Vermögen Schmerzempfindung zu wecken, äussert, lässt man auch die Erscheinung abhängig sein, dass dieselben Erregungsmittel an manchen Hautstellen Schmerz erwecken, an andern nicht; es ist aber die Frage ob diese Hautstellen nicht einfach durch ihren grössern Nervenreichthum empfindlicher sind, oder etwa sich einer Lagerung erfreuen, bei welcher, trotz scheinbar gleichstarker Anwendung eines Erregungsmittels dasselbe in dem einen Nerven doch zu grösserer Wirksamkeit kommt als im andern. Dieses ist z. B. offenbar der Fall bei der grössern Schmerzfähigkeit einzelner Hautparthieen für die Temperatureindrücke, indem bei gleichen Wärmegraden die mit einer zarten Epidermis bedeckten Stellen leichter und intensiver schmerzen als die mit dicker Epidermis versehenen.

2. Bestimmung des schmerzenden Ortes. Die Schmerzempfindung ist stets mit einer Ortsempfindung verknüpft; und zwar empfinden wir jedesmal den schmerzhaften Ort als einen Theil unseres Leibes. Diese Ortsangabe wird nun insbesondere bestimmt durch den in Erregung versetzten Nerven, in der Art, dass jeder Nerv eine bestimmte Ortsempfindung erweckt, die niemals durch einen andern gegeben werden kann. — Jeder Nerv scheint aber auch wiederum nur zur Erzeugung einer einzigen Ortsempfindung geschickt zu sein, so dass es in dieser Beziehung für die Empfindung gleichgültig ist, auf welchem Punkt seines Verlaufs er von der schmerzerregenden Einwirkung getroffen wird. Dieser letzteren Angabe gemäss wird der Ort eines Angriffs sehr häufig in der Empfindung ein anderer als der des wirklichen Angriffs auf den Nerven sein; der scheinbare Ort des Angriffs, auf welchen jedesmal die Empfindung verlegt wird, ist immer derjenige der normalen peripherischen Verbreitung des Nerven.

Wie dieser Ort sehr häufig nur der scheinbare des Angriffs ist, so ist er auch immer derjenige der scheinbaren Empfindung, indem erwiesener Massen nicht in der Peripherie des Nerven, sondern in irgend einer noch näher zu bestimmenden Stelle des Hirns diejenige Wechselwirkung zwischen Seele und Nerven stattfindet, welche zunächst die Empfindung darstellt.

Den obigen Sätzen liegen tausendfältige, leicht zu beobachtende Thatsachen zu Grunde. Zunächst wissen wir aus der täglichen Erfahrung, dass die Nerven eines jeden Körpertheils nur die Empfindung einer Oertlichkeit veranlassen; es tritt hierin niemals eine Verwechslung ein. Wenn aber auf irgendwelche Anregung neben dem Orte des ursprünglich ergriffenen noch der eines anderen Nerven schmerzt, so liegt der Grund hierfür nachweislich immer darin, dass durch den ursprünglich von der schmerzhaften Empfindung ergriffenen Nerven innerhalb des Organismus ein Vorgang eingeleitet wird, vermöge dessen der Nerv des anderen Ortes ebenfalls in Erregung kommt. Demgemäss empfindet man den zweiten Ort immer in Folge einer besondern Affection eines zweiten Nerven. — Davon aber, dass ein Nerv, insofern er schmerzt, nur eine einzige Ortsempfindung zu geben im Stande ist, selbst wenn er auf sehr verschiedenen Stellen seines Verlaufs vom Hirn oder Rückenmark zur Peripherie angeregt wurde, davon überzeugen uns die mannigfachsten Erscheinungen an Gesunden und Kranken. So geben z. B. die in dem n. ulnaris verlaufenden sensiblen Fäden immer die Empfindung der Ulnarseite der Hand und der beiden letzten Finger, mag man sie an ihrer Endverbreitung oder an ihrem Verlauf um den condylus humeri internus, oder am humerus neben der arter. brachialis drücken. Aehnlich verhalten sich der n. ischiadicus, medianus etc., kurz jeder Nerv, der den Einwirkungen erregender Mittel noch an andern Stellen als an seiner peripherischen Verbreitung zugänglich ist. Noch überraschender gestalten sich die Erscheinungen an Kranken; bei Anschwellungen in den Rändern derjenigen Knochenoeffnungen, durch welche Nervenstämme oder -Aeste treten, und einem durch diese Anschwellungen auf den Nerven ausgeübten Druck suchen die Kranken jedesmal den Sitz der heftigen Schmerzen in den peripherischen Enden des Nerven, d. h. es schmerzt nicht die Stelle des Druckes, sondern das Glied, in welchem der gedrückte Nerv sich ausbreitet. Dieses ist am auffallendsten, wenn in Folge einer Amputation etc. die Peripherie des Nerven fehlt; es erscheint dann, wenn die noch mit dem Hirn in Verbindung stehenden Stümpfe der Nerven, die zu dem abgeschnittenen Körpertheil gehören, erregt werden, der Schmerz in den fehlenden Theilen mit einer solchen Lebhaftigkeit, dass die Kranken den Verlust der Glieder vergessen. Die Allgemeingiltigkeit dieser wichtigen, von J. Müller zuerst in ihrer ganzen Bedeutung aufgefassten Thatsache ist von Volkmann bestritten worden. Er hob hervor dass, wenn man einen Nervenstamm auf seinem Verlaufe presse, man neben dem Schmerz im Nervenende auch an der Stelle des Druckes eine schmerzhafte Empfindung besitze. Dieses treffe namentlich zu, wenn man den nerv. ulnaris auf seinem Verlauf um den condyl. intern. humeri presse. — Es besteht hier unzweifelhaft ein der Druckstelle entsprechender örtlicher Schmerz neben den Schmerzen der Hand; sehr wahrscheinlich rührt dieser aber nur von sehr zahlreichen Ausbreitungen des n. cutan. internus her, die hier über dem n. ulnar. in der Haut geschehen; denn in der That ist die von Volkmann hervorgehobene die einzige Stelle, wo neben dem Schmerz in der Peripherie Schmerz an der Druckstelle erzielt wird, wie man sich sogleich überzeugt, wenn man durch leises Zerren mit dem Finger den n. ulnaris neben der arter. brachialis erregt. Hier fühlt man deutlich ausser der Berührung der darüberliegenden Haut keinen andern Schmerz als den der Hand.

Die auf die Empfindung des Orts bezüglichen Thatsachen erklärt

eine von E. H. Weber angeregte und von J. Müller weiter gebaute Hypothese; nach dieser sind die Nervenprimitivröhren in einer bestimmten örtlichen Beziehung zu den Empfindungsorganen im Hirn gelagert, so dass jeder empfindliche Theil unseres Körpers im Hirn durch eine Primitivröhre repräsentirt wird. Erregungszustände, welche in diesen Primitivröhren stattfinden, dringen in denselben isolirt, ohne sich einer benachbarten Röhre mitzutheilen, in das Empfindungsorgan. An der Berührungsstelle dieses letztern mit dem Nervenprimitivrohr geschieht die Empfindung. Aus diesem Theil der Hypothese ist begreiflich, dass jedes Nervenrohr nur eine Empfindung geben kann, mag auch der Eindruck auf dasselbe wo immer geschehen; ferner dass die Empfindung in gleicher Weise fortbesteht, so lange das Nervenrohr noch in ungetrübter Verbindung mit dem Hirn sich findet, mag es auch in seinem Verlauf noch so sehr verstümmelt sein und endlich, dass jedes Nervenrohr eine von dem anliegenden verschiedene Empfindung gibt. Um aber begreiflich zu machen, warum die Empfindung nicht als ein Zustand des Hirns — d. h. des Ortes an dem sie nach obiger Hypothese geschieht — sondern als ein solcher der Organe gefühlt werde, muss man zu einer besondern Seelenwirkung seine Zuflucht nehmen, vermöge deren, um den Sprachgebrauch der Physiologen anzuwenden, die Empfindung ausserhalb des Hirns an die Peripherie des Nerven gesetzt, d. h. auf eine Ursache an den Nervenenden bezogen wird. Die Seele soll aber gerade auf diesen Ort des Nervenverlaufs die Empfindung beziehen, weil dieser durch seine Lagerung den meisten Angriffen ausgesetzt ist. —

Die vorgetragene Hypothese, welche sich bis auf die noch ganz unklare Lehre vom Nachaussensetzen schon durch ihre Bestimmtheit und Einfachheit empfiehlt, kann nicht weit fehl gehen, weil ohne ihr Bestehen der ganze Mechanismus des Nervensystems, wie E. H. Weber richtig bemerkt, sinnlos wäre.

3. Beharrungsvermögen des Schmerzes; Nachschmerz. Wie es scheint momentan mit dem Beginn der Einwirkung des erregenden Mittels entsteht die Empfindung. Keineswegs verliert sie sich aber mit dem Verschwinden der Einwirkung des Erregungsmittels unter allen Umständen. Sie kann die Zeit der Einwirkung dieses letzteren beträchtlich überdauern, wie die Thatsachen des gewöhnlichen Lebens lehren. Die Art, in welcher sich diese sogenannte Nachempfindung geltend macht, ist verschiedenartig; entweder es besteht die Empfindung in ganz gleicher Weise fort, als während der Gegenwart des Erregungsmittels; oder es ist die Empfindung in dem früher schmerzhaften Nerv dumpfer, als in den benachbarten Stellen, wenn sie beide gleichzeitig von einer anderweitigen Erregungsursache getroffen werden. In beiden Fällen scheidet sich also der Nerv in der Empfindung von seinen Nachbarn aus; in dem erstern wie es scheint, durch einen dauernden Erregungszustand; in dem zweiten dagegen offenbar dadurch, dass der Nerv geschwächt zurückbleibt, so dass er

nun durch eine neue Einwirkung weniger erregt wird, als seine ungeschwächten Nachbarn. Die Nachschmerzen scheinen um so stärker hervor zu treten, je anhaltender das Erregungsmittel einwirkte. Hierher gehören die Beispiele der andauernden Schmerzempfindung nach langen Druckwirkungen seitens enger Kleidungsstücke etc.

Die Lehre von der Nachempfindung, d. h. von dem Antheil, welcher dem Nerven an ihr zukommt, wird erst dann einen Fortschritt machen, wenn man die Folgen genauer zu würdigen gelernt hat, welche das Erregungsmittel auf die den Nerv umgebenden Gewebe ausübt, deren Zustand unter vielen Umständen empfindungserweckend auf den Nerven wirken kann.

B. Besondere Gefühle.

Die Orte der besondern Gefühle empfinden neben dem Schmerz auch noch gelinde mechanische Einwirkungen, als Druck, Zug, Kitzel u. s. w. und die Temperaturschwankungen als Wärme und Kälte; ihre Nerven stehen ausserdem in engerer Beziehung zur Seele, durch die sie vor allen Uebrigen deutliche Vorstellungen der erregten Oertlichkeit erwecken, und endlich verknüpfen sich ihre Erregungen mit Bewegungsvorstellungen zur Erzeugung complizirterer Urtheile.

Zu diesen ausgedehnten Leistungen sind die Nerven befähigt, welche sich in der äussern Haut, der Mundhöhle bis zum vordern Gaumensegel, einschliesslich dieses letztern, der Zunge, dem Eingang der Nasen- und Afteröffnung verbreiten.

1. Eigenthümlichkeiten in der Verbreitung und den Ursprüngen dieser Nerven. Die Flächen, in welchen die erwähnten Nerven ihr peripherisches Ende finden, sind mit Einrichtungen versehen, welche in mehr oder weniger inniger Beziehung zu ihren besondern Gefühlen stehen; E. H. Weber. a. Die Nervenröhren enden in der Cutis und der Zunge wahrscheinlich als abgestuzte Fäden, nachdem sie vorher mannigfache Plexus gebildet und sich wiederholt getheilt haben; ihr Ende liegt aller Orten in den Fortsätzen, welche als Papillen die Haut und Zunge bedecken und die, mögen sie gefässhaltig oder gefässlos sein, ein schwammiges, elastisches mit Flüssigkeit durchtränktes Gewebe darstellen, welches einen Ueberzug aus dem starren Pflasterepithelium erhält. Nach einer wichtigen Entdeckung von Meissner und R. Wagner*), sind bestimmte Papillen, Handfläche, des Handrückens, des rothen Lippenrandes, der Fusssohlen und nach Kölliker**) auch die pap. fungiform. linguae ausserdem noch mit einem eigenthümlich gebauten Theile, dem Tastkörperchen, versehen, das entfernt an ein Vater'sches Körperchen erinnert, in welches der Nerv eindringt. An den Orten dieses Vorkommens entbehrt die Papille, welche eine Nervenendigung in sich schliesst, der Gefässe. Durch diese Einrichtungen wird die Haut geschickt

*) Gottinger gelehrte Anzeige, Februar 1852. — Müllers Archiv 1852. 493.
**) Kölliker, Handbuch der mikrosk. Anatomie p. 85.

die Reibung mit den sie berührenden Oberflächen zu befördern, und zugleich sind diese Orte der Nervenendigungen geeignet die zartesten Veränderungen der umgebenden Temperatur dem Nerven unter der Form von Zügen und Drücken mitzutheilen; denn da die Papille die Haut überragt, so wird sie vorzugsweise leicht erwärmt und erkältet werden, und da die Papille mit leicht ausdehnbarer Flüssigkeit durchtränkt und mit einer unnachgiebigen Hornschichte überzogen ist, so muss die Temperaturänderung ausdehnende und zusammenpressende Spannung erzeugen. Die mit Tastkörperchen versehenen Papillen werden in diesem Sinne besonders bevorzugt sein, und darum wahrscheinlich auch der Blutgefässe entbehren, wodurch die subjektiven Gefühle abgeschnitten werden, die Begleiter der wechselnden Gefässdurchmesser hätten sein müssen. — b. Ueber den grössten Theil der Haut finden sich Haare verbreitet, welche durch ihre innige Anheftung an empfindliche Hautstellen kleine Sonden darstellen, welche in Folge zarten Zugs und Drucks besondere Lagenverschiebungen der Haut erzeugen. — c. Die kleinen, von Kölliker entdeckten Muskeln der Haut und Hautdrüsen sind dadurch von Bedeutung, dass sie die Blutmenge sowohl als den Elastizitätscoeffizienten der Haut, mit andern Worten Temperatur und Widerstandsfähigkeit derselben, vorübergehend ändern können. Ihre Bewegungen erzeugen auch geradezu eigenthümliche Temperatur- und Kitzelgefühle, welche unter dem Namen des Ameisenlaufens, des Schauers u. s. w. bekannt sind. — d. Unsere Flächen sind endlich zum Theil auf sehr bewegliche Gliedmassen gestellt, wodurch die Haut der Hand, des Fusses, der Lippen, der Zunge in mannigfaltige und beliebige Stellungen zu den erregenden Gegenständen gebracht werden kann.

Nicht unwahrscheinlich ist es aber, dass nächst den erwähnten besondern Bedingungen in der Haut, auch eine eigenthümliche in dem Hirn erscheint. E. H. Weber hat auf den Umstand die Aufmerksamkeit gelenkt, dass nach den häufig vorkommenden und zerstörenden Blutergiessungen in die Hirnmasse, welche das Dach des Seitenventrikels darstellt, vorzugsweise nur die Empfindungen und Bewegungen der Arme und Beine, aber nicht die des Rumpfes gelähmt sind. Diese Thatsache zeigt allerdings, dass die Nerven der wesentlichsten Tastorgane im Hirn einen andern Verlauf besitzen, als diejenigen des Rumpfes Dieser zusammengedrängte Verlauf von Nerven, die ausserhalb des Hirns so weit auseinandergezerrt sind, gesondert von andern, welchen sie an der Peripherie so nahe liegen, muss allerdings auffallen.

Obwohl es noch durchaus nicht gelingt anzugeben, wie im einzelnen die erwähnten Eigenthümlichkeiten die Besonderheit der Empfindung bedingen, so lässt sich doch mit Schärfe ihr im Allgemeinen bestimmender Einfluss durch Versuche zeigen. Denn a. dieselben Nerven-

röhren geben, je nachdem sie an ihrer Hautausbreitung oder in ihrem Verlauf durch den Stamm erregt werden, entweder das besondere oder nur das Schmerzgefühl; E. H. Weber. Taucht man z. B. den Ellenbogen in eine Mischung von Eis und Wasser, bis dass die Abkühlung allmälig durch die Haut zu dem n. ulnaris dringt, so entsteht in diesem niemals das Gefühl der Kälte, sondern nur des Schmerzes, welches sich aus bekannten Gründen gegen den Ulnarrand der Hand erstreckt. Ebenso sind grosse Hautnarben, in denen die Cutis vollkommen zerstört ist, nicht mehr geeignet Kälte- und Wärmeempfindung zu erzeugen. Endlich entbehren auch die Hautflächen, welchen die beschriebenen Organe fehlen, der ebengenannten Empfindungen, so erzeugt z. B. Eiswasser, in den Magen oder Dickdarm eingebracht, keine Kälteempfindung; E. H. Weber. — b. Nach Einathmung von Aether tritt bekanntlich ein eigenthümlicher Zustand unseres Hirns ein, in diesem empfinden wir höchst auffallender Weise sehr intensive Verletzungen nicht mehr als Schmerzen, dagegen geben schwache Angriffe auf die Haut Tastempfindungen; dieses Auslöschen der Schmerzfähigkeit neben dem Bestehen der Tastempfindlichkeit scheint allerdings darauf hinzudeuten dass diesen beiden spezifisch verschiedene Prozesse des Hirns zu Grunde liegen; Gerdy, Pirogoff*).

2. Erreger der besondern Gefühle. — Die benannten Flächen scheinen aber nur dann die besondern Empfindungen erzeugen zu können, wenn die Erregung der Nerven einen gewissen Grad der Intensität nicht überschreitet; jede heftige Veränderung der Nerven wird nämlich augenblicklich schmerzhaft, und damit verlieren wir die Befähigung, gleichsam als ob die Vorstellung von der Empfindung übertäubt würde, zur Auffassung einiger Besonderheiten der Erregung.

Wenn es nun zur Bildung der besondern Gefühle kommt, verknüpft sich sogleich die Empfindung und die Vorstellung auf das innigste. Darum scheint es E. H. Weber in der meisterhaften Darstellung seiner fundamentalen Entdeckungen vorgezogen zu haben, die nächsten und entfernteren Wirkungen der Erreger zugleich abzuhandeln, indem er die Gesammtheit der durch Druck, Zug und Temperaturschwankung in der Empfindung und Vorstellung hervorgerufenen Erscheinungen beschreibt als Ort- Druck- und Temperatursinn. Wir werden diese Reihenfolge, abweichend von der bisher bei den Sinnen eingeschlagenen, ebenfalls zu Grunde legen.

3. Ortsinn. Dieser Namen bezeichnet die Fähigkeit, unmittelbar durch die von mechanischen Erregern erzeugten Empfindungen, zu einer Vorstellung von der Gestalt der erregten sensiblen Flächen zu gelangen. — Dieses Vermögen ist, wie die Versuche von E. H. Weber lehren, an verschiedenen Stellen sehr verschieden ausgebildet.

*) E. H. Weber l. c. p. 563.

Nach ihm besitzen den feinsten Ortsinn die Zungenspitze, die Volarseite des letzten Fingergliedes, dann, aber schon geringer, die rothen Lippen und die Volarseite des zweiten Fingergliedes; in absteigender Ordnung folgen dann aufeinander Dorsalseite der letzten zwei Fingerglieder, Nasenspitze, Volarseite des Handtellers, Mittellinie und Seite der Zunge, die einen Zoll von der Spitze entfernt ist, die fleischfarbenen Lippen und Metacarpus des Daumens, Plantarseite des letzten Grosszehengliedes, Rückenseite des zweiten Fingergliedes, Backen, äussere Oberfläche des Augenlides, Mitte des harten Gaumens; Haut auf dem vordern Theil des Jochbeins, Plantarseite des Mittelfussknochens der grossen Zehe, Rückenseite des ersten Fingergliedes; Haut der capitula ossium metacarpi auf der Dorsalseite, innere Oberfläche der Lippen; hinterer Theil des Jochbeins, unterer Theil der Stirn, hinterer Theil der Ferse; behaarter Kopf, Hals unter der Kinnlade, Handrücken; Kniescheibe, Kreutzbein, Hinterbacke, Unterarm, Unterschenkel; Brustbein; Rückgrath am obern und untern Theil des Halses und Rückens, die Lenden; Rückgrath in der Mitte des Halses und des Rückens, Mitte des Ober- und Unterschenkels.

Die mitgetheilte Classification der Hautstellen nach ihrem Ortsinn stützt sich auf mehrere sinnreiche Versuchsreihen von E. H. Weber. In der ersten derselben betastete er mit stumpfen (gedeckten) Spitzen eines in verschiedener Weite geöffneten Zirkels die Haut eines Menschen, dessen Augen verbunden waren, während möglichst normaler Erregbarkeit desselben. Hier fand sich, dass die Zirkelspitzen auf verschiedenen Hautstellen in verschiedener Entfernung von einander aufgestellt werden mussten, wenn dieselben als zwei getrennte Punkte empfunden werden sollten. So z. B. empfand die Zungenspitze, dass der Zirkel noch geöffnet sei, wenn seine Spitzen um $\frac{1}{2}$ Linie; das letzte Fingerglied, wenn sie um 1 Linie; die Haut des Oberarms aber erst, wenn sie um 30 Linien entfernt waren. Wurden sie mehr genähert, so entstand an den betreffenden Punkten immer nur die Empfindung, als ob eine einzige Zirkelspitze aufgesetzt gewesen sei. Eine Modifikation desselben Versuchs besteht darin, dass man mit einem constanten Spitzenabstand über zusammenhängende Hautstellen verschiedener Feinheit des Ortsinns hinfährt. Tritt man aus den Regionen stumpferen Ortsinnes in die der feineren, so scheinen sich die Spitzen zu entfernen, während sie sich beim umgekehrten Gang zu nähern scheinen. In einer andern Versuchsreihe legte er verschiedene Hohlfiguren auf die Haut, z. B. die abgeschnittenen Ränder von Röhren, Hohlprismen etc. War der Durchmesser des Hohlraumes kleiner als der Abstand, in welchem zwei Zirkelspitzen getrennte Empfindungen erregen, so erschien der Körper solid, im umgekehrten Falle kam es dagegen zum Bewusstsein, dass von den Rändern ein freier Raum umschlossen wurde.

Diese Thatsachen erläutert Weber durch die Annahme, dass eine erregte Nervenröhre den Kreis von bestimmter Ausdehnung welchen sie versorge, in der Empfindung als Einheit zum Bewusstsein bringe. Demnach müssen also, wenn zwei gleichzeitig auf die Haut gemachte Eindrücke als gesondert unterschieden werden sollen, wenigstens auch zwei solcher Gefühlskreise gleichzeitig getroffen werden; erfahrungsgemäss scheint es ihm jedoch für das Entstehen der Empfindung des Abstandes der erregten Gefühlskreise nothwendig zu sein, dass auch zwischen den erregten noch ein oder mehrere andere gelegen seien Je kleiner ein Gefühlskreis sei, und je gedrängter dieselben liegen, um so zahlreicher sind dann die getrennten Empfindungen, welche ein Hautstück vermitteln kann. Um begreiflich zu machen, wie es geschehe, dass sich die gleichweit abstehenden Zirkelspitzen je nach dem Eintreten in mehr

oder weniger nervenreiche Hautstellen bald zu nähern, bald zu entfernen scheinen, führt er die Annahme ein, dass der Mensch wegen häufigen Gebrauchs ein dunkles Bewusstsein der gesonderten Gefühlskreise besitze und demgemäss zähle, wie viel solcher Kreise zwischen den gerade erregten befindlich seien. Für die Richtigkeit dieser Hypothese im Allgemeinen spricht die Thatsache, dass die Regionen des feinsten Ortsinnes mit sehr zahlreichen Nervenästchen versorgt werden; zugleich ist sie eine nothwendige Folgerung der wohlkonstatirten Thatsachen von der isolirten Leitung in den Nervenröhren und von der Besonderheit des Nervenrohres, nur eine einzige Ortsempfindung vermitteln zu können. Mit dieser Annahme glaubten einige Gelehrte aber verschiedene Thatsachen nicht in Einklang bringen zu können. Die meisten ihrer Einwürfe scheinen aber Missverständnissen ihren Ursprung zu verdanken. Dahin gehört namentlich 1) da die Zahl der Nervenröhren, welche in die Orte feinster Tastempfindlichkeit eintreten, viel zu beträchtlich sei, als dass auf einem Kreis von einer halben Linie Durchmesser nur ein Nervenrohr sich verästeln solle, so müsse eigentlich die Feinheit in der Unterscheidung der Oertlichkeit noch unter diesen Werth sinken. 2) Setzt man die Zirkelspitzen an dem Rumpf so auf, dass sie die Mittellinie desselben zwischen sich fassen, so dass also die eine derselben diesseits und die andere jenseits der Mittellinie zu liegen kommt, so entsteht dadurch dennoch bei selbst beträchtlichem Abstand nur eine Empfindung, obgleich hier Röhren verschiedener Rückenmarkhälften getroffen werden. 3) Man fand es ferner unbegreiflich, dass die in der Reihenfolge *a b c* liegenden Gefühlskreise die Empfindung der gesonderten geben, wenn die Zirkelspitzen auf *a* und *c* aufgesetzt sind, während sie sich einfach darstellen bei Auflage auf *a* und *b* sowohl als bei der auf *c* und *b*. Köllik er*), Lotze**). Aus diesen Thatsachen können aber keine Einwürfe gegen Weber hergenommen werden, da sie es gerade waren, welche Veranlassung gaben zu dem Ausspruch, dass nicht durch die gleichzeitige Berührung der Verbreitungsorte zweier Nervenröhren überhaupt die Empfindung des doppelten Ortes entstehe, sondern dass diese letzte Empfindung nur erzeugt werden könne, wenn ein oder mehrere Empfindungskreise zwischen den erregten Stellen liegen. Diese Annahme wird aber von Weber nicht allein aus den vorgeführten Thatsachen gefolgert, sondern auch noch aus dem schon beigebrachten Versuch, dass zwei Zirkelspitzen von konstantem Abstand sich zu nähern scheinen, wenn man mit ihnen aus nervenreichern in nervenärmere Hautstellen übertritt. Eine weitere Bürgschaft für diese Weber'sche Behauptung, wonach die Seele gleichsam den Abstand der Nervenröhren im Hirn schätzt, liegt endlich darin, dass sich bei günstigen Stimmungen und durch Uebung die Grösse des Durchmessers der sogenannten Empfindungskreise verkleinert, während sie sich durch Einnehmen narkotischer Gifte, Atropin, Daturin, Morphin vergrössert. Lichtenfels.***)

Scheinbar bedeutender scheint der Einwurf, dass man das Fortrücken einer Zirkelspitze innerhalb eines Raumes fühlt, das an zwei gleichzeitig aufgesetzten Spitzen nur eine Empfindung erzeugt; es birgt also offenbar dieser im letzten Falle als Einheit empfundene Raum die Möglichkeit differenter Raumempfindung; Lotze. Auch dieses ist von Weber nicht übersehn worden. Der Grund des Widerspruchs beider Beobachtungen scheint überhaupt nur gesucht werden zu dürfen in Verschiedenartigkeiten, welche den beiden Erregungen zukommt, wie schon daraus sich ergibt, dass man bei der Bewegung der Spitze ausser dem Orte der Berührung auch noch die Richtung der Bewegung empfindet. Die Aufgabe stellt sich also dahin, aus der verschiedenen Art der Erregung unter Festhalten der gut begründeten Weber'schen Annahme den Unterschied der Wirkungen gleichzeitiger und ungleichzeitiger Erregung abzuleiten.

---

*) Lehrbuch der mikrosk. Anatomie II. a. p. 39 u. f.

**) Lotze medizinische Psychologie. Leipzig 1852. p. 395 u. f.

***) Lichtenfels, Sitzungsberichte der Wiener Akademie. VI. 338.

4. Drucksinn bezeichnet die Leistung unserer Tastorgane unmittelbar aus der Empfindung, eine Vorstellung über den Grad der Zusammenpressung oder Ausdehnung, den unsere Haut durch ein mechanisch wirkendes Mittel erfährt, zu erzeugen. Dieses Vermögen äussert sich an verschiedenen Parthien der Haut nicht so wechselvoll wie der Ortsinn. Die empfindlichsten Hautstellen wie die Fingerspitzen unterscheiden noch einen Druckunterschied eines Gewichtes von 20:19,2 Unzen, während der Vorderarm einen solchen von 20:18,7 empfindet.

Weber prüfte die Feinheit des Drucksinns dadurch, dass er auf die Haut eines Körpertheiles, der sehr gut unterstützt wurde, Gewichte von gleicher Grundfläche, z. B. Geldstücke, auflegte, diese entfernte und rasch durch neue ersetzte. Wenn die Zeit, welche zwischen dem Auflegen von einem Gewichte verstrich, hinreichend gering ist, so gelingt es auf diese Weise viel unbedeutendere Gewichtsunterschiede zu empfinden, als dadurch, dass man auf verschiedenen Hautstellen gleichzeitig oder nacheinander Gewichte auflegt. — Das Vermögen, auf derselben Hautstelle die Stärke eines nicht mehr vorhandenen mit der eines noch bestehenden Erregungsmittels zu vergleichen, nimmt für kleine Gewichtsdifferenzen mit der Zeit rascher ab, als für grössere. So nahm Weber den Gewichtsunterschied von 14 (oder 14,5) zu 15 Unzen nur dann wahr, wenn zwischen dem Aufliegen beider kein grösserer Zeitraum als der von 30 Sekunden verstrichen war. Verhielten sich die Gewichte wie 4 : 5, so konnte aber noch nach 90 Sekunden der Unterschied bestimmt werden. Ein Zug an den Haaren wird bekanntlich ebenfalls mit grosser Genauigkeit auf seinen Werth bestimmt.

Die Thatsache, dass an nervenreichen Theilen das Unterscheidungsvermögen für Drücke nicht oder nur weniges schärfer ist, als an nervenarmen, steht in noch ungelösstem Widerspruch mit der Beobachtung, dass auf nervenreichen Theilen schmerzerregende Mittel von gleicher Ausdehnung und Stärke viel intensiver wirken als auf nervenarmen.

Die schon durch ihren Nervenreichthum bevorzugten Organe, Fingerspitzen, Lippen und Zunge sind endlich, zur Vervollkommnung ihres Vermögens Form und Druck zu empfinden, noch mit einer grossen Beweglichkeit versehen; hierdurch erwächst begreiflich der Vortheil, dass durch Anschmiegen an die betasteten Flächen, durch willkürliches Hin- und Herführen über dieselben, ihre Form, Grösse, Widerstand einzelner Parthien etc. sehr genau bestimmt werden kann. Die Genauigkeit der Vorstellung die aus der Auflagerung der nervenreichen Hautstellen auf sehr bewegliche Organe erwächst, steigert sich aber noch um ein beträchtliches dadurch, dass die Zusammenziehungen der hier in Betracht kommenden Muskeln ebenfalls auf irgend welche, in ihrem Mechanismus noch näher zu bestimmende Weise dem Grade nach von der Seele geschätzt oder empfunden werden. Aus diesem Zusammenhalten der zum Angreifen eines Körpers nöthigen Bewegung, oder der zu seiner Fortbewegung nöthigen Muskelanstrengung und der diese Bewegungen begleitenden Empfindungen in der Haut, entstehen eine Zahl sehr complizirter Urtheile. Es beziehen sich diese auf die Richtung und Stärke eines Widerstan-

des oder Zuges, auf die Bestimmung der Form eines complizirten Körpers aus der Betastung weniger Flächen desselben, und endlich auf die Bestimmung des Ortes, an welchem sich der empfindungerregende Körper befindet.

Zu den hier erwähnten Erscheinungen, die im Zusammenhang bei dem sog. Muskelsinn noch eine Besprechung finden werden, zählt a. Wir sind im Stande einen viel geringeren Unterschied zweier Gewichte beim Emporheben derselben aufzufassen, als beim Auflegen derselben auf die Hand; ebenso können wir bei leisen Bewegungen des Kopfs eine an die Haare angebrachte Zugwirkung ihrer Richtung nach sehr genau bestimmen. b. Bei der Bestimmung der Form eines der Betastung unterworfenen Körpers erweist sich der Einfluss der Bewegungen auf die Beurtheilung der von den Hautflächen gelieferten Empfindung in der Weise helfend, dass wir dieselben Empfindungen als Folge ganz verschiedener Formen erklären, je nach der Stellung, welche die Tastflächen bei der jeweiligen Berührung zu einander besassen. So werden z. B. bekanntlich zwei Kugelflächen als convergirend (zu einer Kugel gehörig) angesehen, wenn wir sie mit den in der gewöhnlichen Fingerstellung einander zugekehrten Rändern der Fingerspitzen umgreifen; dieselben Kugelflächen werden aber als divergirend (als zwei verschiedenen Kugelflächen zugehörig) angesehen, wenn wir sie mit zwei im Ruhezustand von einander abgewendeten Flächen der Fingerspitzen, wie diess beim Uebereinanderschlagen der Finger möglich ist, umfassen. c. Endlich empfinden wir viele Eindrücke gleichzeitig in einer grösseren und geringeren Entfernung von den empfindlichen Flächen, wenn diese Bewegungen ausführen. Weber hat darauf aufmerksam gemacht, dass z. B. ein Stäbchen, welches wir auf den Tisch setzen, und auf diesem bewegen, zwei Empfindungen veranlasst, von denen die eine an der Berührungsstelle der Finger und des Stäbchens und die andere an der des Tisches und Stäbchens gelegen ist. Dieser letztere Empfindungsort wird vorzugsweise beim sog. Sondiren den Aerzten von Bedeutung. Als Sonden, die an dem menschlichen Organismus angewachsen sind, und demgemäss nur eine Empfindung, an ihren freien Enden veranlassen, müssen die Zähne betrachtet werden.

5. Wärmesinn. Die freie Wärme erzeugt uns nur die Empfindungen der Temperatur, wenn sie innerhalb gleich anzugebender Grenzen Schwankungen in ihrer Intensität erleidet; sie büsst in diesen Grenzen ihre erregenden Wirkungen ein, wenn sie in constanter Stärke auf die Haut einwirkt; mit andern Worten: ein constanter Thermometerstand wird innerhalb der anzugebenden Grenzen nicht empfunden, wohl aber seine Veränderung und zwar begleitet das Steigen der Quecksilbersäule die Empfindung der Wärme und das Sinken derselben die der Kälte. — Aber nur Schwankungen der Temperatur in engen Grenzen bedingen Wärme- oder Kälteempfindungen; wenn sie unter + 10 bis 11° C. sinkt und auf + 46 bis 47° C. steigt, so ruft sie Schmerz hervor.

Wie wenig eine constante Temperatur Empfindungen erweckt, beweist die Thatsache, dass wir eine verschiedene Temperatur unserer Hautflächen, z. B. der Stirn und Finger, erst gewahren, wenn wir sie in gegenseitige Berührung bringen; d. h. wenn wir das eine Glied auf Kosten des andern abkühlen.

Das Vermögen Temperaturunterschiede wahrzunehmen, scheint innerhalb der angegebenen Grenzen unabhängig von dem absoluten Stand des Thermometers; indem wir nach Weber + 14° von + 14,4° R.

eben so gut unterscheiden können als + 30° von + 30,4° R. Abhängig ist es dagegen: a. von der Geschwindigkeit, mit welcher der Temperaturwechsel erfolgt; b. von der Temperatur der Haut; c. von der Grösse der Hautflächen, welche gleichzeitig der Temperaturveränderung unterworfen werden und endlich d. von dem besondern Hautorte, in welchem der Temperaturwechsel vorgeht. —

Zu a. Erfahrungsgemäss empfinden wir bei allmäligem Uebergange von einer Temperatur zur andern den Abstand beider weniger scharf, als bei raschem Uebergang. Dieser Umstand muss einen Einfluss auf die Fähigkeit der einzelnen Hautstellen, Wärmeunterschiede zu empfinden, ausüben; da die Haut mit einem die Wärme schlecht leitenden Ueberzug und durch den stets kreisenden Strom des constanten temperirten Blutes, mit einem Wärmeregulator versehen ist, so muss je nach der Dicke der Epidermis und der Stromgeschwindigkeit des Bluts in verschiedenen Hautparthien die Abkühlung oder Erwärmung der Nerven durch dieselbe Temperatur in verschiedener Zeit erfolgen. — Zu b. Je entfernter die Temperatur, die jeweilig auf unsere Haut einwirkt, von derjenigen dieser letztern ist, um so lebhafter wird der durch sie hervorgebrachte Eindruck sein, wie sich aus dem vorhergehenden von selbst versteht und wie es die Erfahrung bestätigt. — Zu c. hat Weber noch die ausserordentlich wichtige Bemerkung gefügt, dass zwei benachbart gelegene Hautflächen sich mehr unterstützen als zwei entfernt gelegene; so dass, wenn uns überhaupt die Differenzen zweier Temperaturen deutlicher bei Anwendung derselben auf grössere als auf kleinere Hautflächen erscheinen, die grösseren wiederum am empfindlichsten wirken, wenn alle dem Temperaturwechsel ausgesetzten Hautflächen im unmittelbaren Zusammenhang stehen. — Zu d. Endlich sind die Hautflächen, welche empfindlicher für den Temperaturwechsel sind, dieses nicht sowohl durch ihren Nervenreichthum, sondern aus andern noch nicht erforschten Gründen. Weber stellt folgende Reihenfolge der Temperaturempfindlichkeit auf, die von den höheren Graden beginnt: Zungenspitze, Augenlider, Backen, Lippe, Hals, Rumpf; von der Gesichts-, Brust- und Bauchhaut gilt als Regel, dass die der Mittellinie näher gelegenen Theile weniger empfindlich sind, als die seitlichen. An den Extremitäten scheint bald dieser bald jener Theil eine grössere Fähigkeit zur Temperaturempfindung zu besitzen.

Die beste Prüfungsmethode für einen Temperaturunterschied besteht nach den mitgetheilten Thatsachen darin, die verschiedenen Temperaturen auf eine und dieselbe möglichst grosse Hautfläche in unmittelbar auf einander folgenden Zeiten einwirken zu lassen.

Für eine zukünftige Theorie der Wärmeempfindung verspricht die von Weber entdeckte Thatsache von Wichtigkeit zu werden, dass zwei Gegenstände von gleichem absoluten Gewicht vom Drucksinn verschieden schwer geschätzt werden, wenn ihre Temperatur ungleich ist; der kältere erscheint schwerer.

Bemerkenswerth dürfte es auch sein, dass sehr heftige galvanische Ströme wechselnd bald Wärme bald Kälte erzeugen, wie bei du Bois*) angemerkt ist.

6. Ueber die Dauer der Nachwirkung in Folge von Drücken, Nachgefühl und der daraus hervorgehenden Verschmelzung von Eindrücken, hat Valentin**) Versuche angestellt; er legte nämlich den Finger gegen ein Zahnrad, das sich mit

*) l. c. 1. Bd. 283.

**) Archiv für physiolog. Heilkunde. XI. Bd. 3. u. 4. Heft.

verschiedenen aber messbaren Geschwindigkeiten drehte; je nach dieser Umdrehungsgeschwindigkeit konnten die einzelnen Zähne noch als gesonderte unterschieden werden, oder es entstand durch Verschmelzung einzelner Eindrücke die Empfindung des Glatten, indem, bevor der erste Eindruck verschwand, der folgende schon eingetreten war. — Bei dieser Beobachtungsmethode wird unter allen Umständen die Haut zusammengedrückt, welche als ein elastischer Körper eine endliche Zeit zu ihrer Wiederausdehnung braucht; daraus ist ersichtlich, dass von dem Zahn zugleich ein Rücklass in dem Nerven und in der Haut bleibt. Da Valentin hierauf keine Rücksicht genommen, so lässt sich nicht angeben, wie die einzelnen von ihm beobachteten Erscheinungen zu deuten sind. — Er gibt nur an, dass 640*) Eindrücke in der Sekunde noch als stark gesonderte gefühlt werden. Die Sonderung der Eindrücke soll begünstigt werden durch eine dünne Oberhaut; durch Excoriationen; durch Baden in Blausäure, im wässerigem Opiumextrakt, in Kali, in Wasser von 40° bis 45° C., Ueberzüge über die Finger von feinem Leder, von Oelpapier, von Wasser, durch starken Druck von Seiten der Finger und spitzige Form der Zähne. — Die Verschmelzung der Eindrücke soll aber begünstigt sein durch anhaltende Wasserbäder mittlerer Temperatur, durch Bäder in verdünntem Weingeist, in Kältemischung und Wasser von + 54° C; durch Hemmung des Blutlaufs, durch Aetherbetäubung.

Andere besondere Gefühle, wie der Hunger, Durst, Wollustgefühl u. s. w. werden bei der Verdauung u. s. w. abgehandelt.

---

*) Valentin dürfte den bei dieser Gelegenheit gemachten Fehler über Leitungsgeschwindigkeit der Erregung irgendwo selbst verbessern.

Vierter Abschnitt.

Physiologie des Muskelsystems.

I. Allgemeine Muskelphysiologie.

Die Anatomen unterscheiden bekanntlich mehrere Formen des Muskelelementes, die quergestreifte und die glatte. Da dieser Formverschiedenheit, wie wenigstens zum Theil nachweislich, auch eine Abweichung in der Anordnung der Kräfte parallel geht, so muss die Physiologie diesen Unterschied adoptiren.

A. Physiologie der quergestreiften Muskelröhre.

Anatomisches Verhalten. *) An der quergestreiften Muskelröhre unterscheidet das bewaffnete Auge die Hülle, eine strukturlose häutige Röhre, die Kerne, d. h. Zellen, welche im mehr oder weniger regelmässigen Abstande von einander an der inneren Fläche der Hülle liegen, und endlich den Inhalt. — Ueber die Form dieses Letzteren, des wesentlichsten Bestandtheiles, lässt sich hier nur als wahrscheinlich angeben, dass sie aus regelmässigen, prismatischen Körnchen gebildet (Bowmanns primitive particles) sei, welche im lebenden Zustand durch eine Zwischensubstanz zu mehr oder weniger homogenen Fäserchen vereinigt sind. Diese aus den Körnchen bestehenden Fäserchen, die in grösserer Zahl in einem Schlauch vereinigt liegen, sind von einer Flüssigkeit, der Muskelflüssigkeit, durchtränkt. —

Die Bilder, welche man mit dem Mikroskop von der Muskelsubstanz gewinnt, sind bezüglich ihres Inhaltes sehr vieldeutig. Bald sieht man die Muskelröhren nur mit Querstreifen versehen, die in regelmässigen Abständen aufeinander folgen; diese Querstreifung, obgleich oft nur ganz oberflächlich erscheinend, gehört dennoch nicht der Scheide an, weil sie auch noch besteht, wenn diese zerrissen ist und weil man sie sehr häufig auch in die Tiefe des Muskelrohres verfolgen kann. In andern Fällen und zwar sowohl während des Lebens als im Tode ist der Inhalt in eine Zahl von feinen Längsfäden zerfallen. In noch andern gleichzeitig durch Längs- und Querstreifen getheilt, so dass der Muskelinhalt von der Scheide befreit aus varikösen

*) Kölliker, Mikroskopische Anatomie II. 1. p.

Fäden zu bestehen scheint. — Eine Hypothese, welche die Gestalt des Röhreninhaltes erläutern soll, muss begreiflich eine Erklärung dieser verschiedenen Anschauungen geben. Drei zählen zu diesen mit scheinbarer Gleichberechtigung. Die erste, welche die meisten Anhänger findet, nimmt an, dass der Röhreninhalt aus feinen, chemisch homogenen Längsfaden bestehe, welche in regelmässigen Abständen mit Einschnürungen versehen seien (variköse Primitivfaser); die zweite erklärt den Inhalt für Längsfasern, welche regelmässig wellig gekräuselt seien, und die dritte endlich behauptet, der Inhalt werde durch kleine prismatische oder cylinderische Stücke gebildet, welche durch eine chemisch verschiedene Zwischensubstanz zu Fasern vereinigt würden (Bowmann, Lehmann). Die Thatsachen scheinen im gegenwärtigen Augenblicke für diese letztere Annahme zu sprechen. Denn abgesehen davon, dass sie die Bilder lebender Muskelsubstanz so gut erläutert, wie die beiden andern Hypothesen, ist mit ihr in Harmonie, dass der Inhalt durch Essigsäure, conzentrirte Salz- und Salpetersäure, doppelt chromsaures Kali und Fäulniss in regelmässig parallelepipedische Stücke zerfällt, deren Länge ungefähr dem Abstande der Querstreifung entspricht (Lehmann). Diese Thatsache ist vollkommen unvereinbar damit, dass die Fasern gleichartig seien; denn unter dieser Voraussetzung müssten sie unter dem Angriffe eines Lösungsmittels feiner und feiner werdend, verschwinden. — Nächstdem muss aber auch noch eine zweite, anders zusammengesetzte, die einzelne Längsfasern verbindende Zwischensubstanz vorhanden sein. Ihre Gegenwart lehrt die mikroskopische Beobachtung, indem das Muskelrohr auf dem Querschnitt mit distinkten, durch eine Zwischenmasse getrennten Punkten, die den abgeschnittenen Fasern entsprechen, versehen erscheint. Für die besondere chemische Natur dieser Zwischenmasse erhebt sich die Beobachtung, dass durch Kali und destillirtes Wasser die Längsstreifung vorzugsweise hervortritt unter Verschwinden oder Zurücktreten der Querstreifung; es scheint hieraus hervorzugehen, dass sich die der Länge nach eingelagerte Zwischenmasse löse und die chemisch discontinuirliche Längsfaser aufquelle zur Bildung einer optisch gleichartigen Faser. — Immerhin mag es aber noch besser sein, keine der Hypothesen für den wahren Ausdruck der Thatsache anzusehen, sondern durch methodischere Untersuchung tiefer in den Gegenstand einzudringen.

Chemisches Verhalten.*) Die organische Grundlage der drei Formen des quergestreiften Muskelelements ist von verschiedener chemischer Zusammensetzung. Die Hülle besteht wahrscheinlich aus elastischer Substanz, die Kerne und der feste Röhreninhalt aus besondern eiweissartigen Stoffen; von diesen beiden ist die letztere, die Substanz der Fasern, charakterisirt durch ihre Leichtlöslichkeit in sehr verdünnter Salzsäure (von 0, 1 p. c. Liebig) und ihre Unlöslichkeit in kohlensaurem Kali (Virchow). —

Die Behauptung, dass die Muskelhülle aus elastischem Stoff bestehe, gründet sich auf die Schwerlöslichkeit derselben in Kali und Mineralsäuren. — Die Substanz der Fasern nähert sich in ihren Eigenschaften dem geronnenen arteriellen Faserstoff; eine Analyse des aus der salzsauren Auflösung gefüllten Stoffes ergab C 54,5; H 7,3; N 15,8; S 1,1; O 21,4; Strecker. Diese Zahlen weichen nun freilich von den für den Faserstoff gefundenen sehr ab. Obwohl wir nun den Stoff weder zum Faserstoff noch zu einem andern eiweissartigen stellen können, so berechtigt uns diess dennoch nicht, eine eigene Spezies von eiweissartigen Körpern aus dieser Substanz zu bilden, und zwar um so weniger, als wir es schon wahrscheinlich fanden, dass die Faser auf den verschiedenen Abschnitten ihrer Länge chemisch ungleichartig und somit der analysirte Stoff ein Gemenge sei. — Der Stoff der Kerne löst sich leicht in K O,

*) Lehmann, physiolog. Chemie. Leipzig 1851. III. Bd. 76.

dagegen widersteht er der verdünnten Salzsäure, und ist somit weder mit der Hülle noch mit den Fasern identisch.

Ausser den erwähnten Stoffen enthält der feste Theil der Muskeln noch Fett, das entweder zwischen den Fasern liegt, oder vielleicht auch in ihnen selbst enthalten ist; denn häufig kommen dem bewaffneten Auge Fetttropfen innerhalb des frischen Muskelrohrs zu Gesicht; jedesmal aber erscheinen sie in demselben, wenn aus der Scheide der Stoff der Fasern durch verdünnte Salzsäure ausgezogen wurde. Endlich enthält der feste Theil der Muskeln auch noch $2\,MgO,\ PhO_5$; $2\,CaO,\ Ph\ O_5$ und $2\,Fe_2\ O_3,\ Ph\ O_5$. —

Diese festen Massen werden nun von einer Flüssigkeit sehr wechselnder Zusammensetzung durchtränkt; im Falle höchster Complication enthält sie Eiweiss; Kreatin; Kreatinin (Liebig) Hypoxanthin; Inosit; (Scherer) Inosinsäure (Liebig) Milchsäure (Berzelius); Butter - Essig - Ameisensäure (Scherer); SO_3; $Ph\ O_5$; $C\ O_2$; ClH; NaO; KO; $Ca\ O$; $Mg\ O$; Sauerstoffgas und Wasser. Der Wechsel in der Zusammensetzung dieser Flüssigkeit trifft soweit wir wissen, vorzugsweise das Kreatin und die organischen Säuren.

Die Gruppirung dieser Stoffe zu Verbindungen zweiter Ordnung ist noch nicht vollkommen gelungen, weil der Analytiker die Bestimmung nur zum kleineren Theil aus der frischen Fleischflüssigkeit zum grössten Theil aber aus der Asche des Rückstandes machen muss. Die indifferenten Eiweiss, Kreatin, Hypoxanthin und Inosit befinden sich wahrscheinlich als solche in Lösung. Die organischen Säuren sind, wahrscheinlich an KO und NaO gebunden; wir glauben dieses, weil die flüchtigen Säuren erst nach einem Zusatz von SO_3 zur Fleischflüssigkeit abzudestilliren sind und aus der Gegenwart von kohlensauren Salzen und phosphorsauren mit 3 Atom fixer Basis in der Asche, welche in der frischen Flüssigkeit nicht vorkommen. Die SO_3, die man in der Asche findet, ist wahrscheinlich ein bei dem Verbrennungsprozess aus dem S der eiweissartigen Körper entstehendes Kunstprodukt; man hält sich zu dieser Annahme berechtigt, weil in der Fleischflüssigkeit kein SO_3 nachweisbar ist (Liebig). Das Cl ist an Na vorzugsweise aber an K gebunden. Die PhO_5 ist theils an die Kalien theils an Erden geknüpft; mit den Erden bildet sie $2MgO,\ PhO_5$ und $2CaO,\ PhO_5$. Die kalischen Salze der Phosphorsäure sind wahrscheinlich bald nach der Formel $2KO,\ HO,\ PhO_5$ bald nach der $KO,\ 2HO,\ PhO_5$ zusammengesetzt. Obwohl in der Asche zuweilen KO fast in solcher Menge vorhanden ist, um einer Verbindung von der Form $3KO, PhO_5$ zu genügen, so ist man doch geneigt die Gegenwart des basischen Kalisalzes zu verwerfen, weil die in der Flüssigkeit vorhandenen organischen Säuren das Bestehen einer solcher Verbindung nicht erlauben, und weil beim Glühen mit kohlensauren Salzen (die aus den organisch-sauren entstanden sind) das $2KO, HO, PhO_5$ unter Austreibung von CO_2 in $3KO,\ PhO_5$ verwandelt wird. Meist genügt jedoch nach Abzug des an Cl gebundenen Theiles, das in der Asche vorhandene KO nicht einmal um sämmtliche PhO_5 als $2KO,\ HO,\ PhO_5$ zu binden; in diesem Falle muss saures phosphorsaures Kali in der Fleischflüssigkeit vorhanden gewesen sein, da die geringe Menge von Ph, welche frei (?) in den eiweissartigen Körpern vorhanden, die Annahme nicht rechtfertigt, dass die überschüssige Phosphorsäure von seiner Verbrennung herrühre. — Die CO_2 muss in der Fleischflüssigkeit diffundirt sein, da sie beim Eindampfen derselben so vollkommen entfernt wird, dass der Rückstand bei Uebergiessen mit Säuren nicht brausst. Der O ist ebenfalls als Gas aufgelöst.

Die Menge der einzelnen festen Theile der Fleischflüssigkeit ist wechselnd. Helmholtz hat die wichtige Entdeckung gemacht, dass der in Alkohol lösliche

Theil des Rückstandes bedeutender wird wenn die Flüssigkeit aus einem angestrengten Muskel gezogen ist. du Bois hat diese Beobachtung dahin vervollständigt, dass der angestrengte Muskel sauer reagirt, während der ruhige sich neutral verhält. Aus der Untersuchung von J. Liebig ergibt sich ferner, dass alle Muskeln, welche sich bis zum Tode sehr lebhaft bewegten, mehr Kreatin enthalten, als die ruhig verbliebenen Nach G. Liebig nimmt endlich mit der Muskelzusammenziehung auch die Menge der CO_2 zu. — Sehr bemerkenswerth erscheint es, dass die Muskelflüssigkeit wie Braconnot entdeckte, vorzugsweise Kalisalze im Gegensatz zum Blutserum in dem die Natronsalze das Uebergewicht haben, enthält. Diese eben geschilderten Verschiedenheiten machen die quantitativen Analysen der Muskelflüssigkeit werthlos, wenn diese letztere, was bisher unterblieb, nicht als eine mit den Muskelfunktionen variable aufgefasst wird.

Ueber die Lagerung der einzelnen Bestandtheile der Fleischflüssigkeit befinden wir uns ebenfalls noch nicht im Klaren. Man hat offenbar das Recht dazu, einen Theil der Flüssigkeit für Blut, welches in den Gefässen der Muskelsubstanz enthalten war, anzusprechen*). Aber abgesehen davon, dass man nicht weiss, welcher Theil dem Blut und welcher dem Muskel angehört, ist wohl auch unzweifelhaft die eigentliche Muskelflüssigkeit selbst verschieden gelagert, so dass die die Röhren umspülende Flüssigkeit eine andere Zusammensetzung besitzt, als die in ihnen enthaltene. Es ist dieses darum mehr als wahrscheinlich, weil das zerhackte und mit Wasser ausgekochte Fleisch beim Verbrennen eine Asche hinterlässt die noch phosphorsaures Kali aber keine Cl Verbindungen oder CO_2salze mehr enthält (Keller). Das erste in Wasser lösliche Salz muss also sehr innig und inniger als die andern dem Fleische adhäriren, da es durch das Auskochen mit Wasser nicht entfernt werden konnte.

Physiologisches Verhalten.

Der Muskel wird dem thierischen Körper als Bewegungswerkzeug von Wichtigkeit; hiezu wird er aber befähigt durch die Eigenthümlichkeit seiner kleinsten Theilchen, verschiedene Stellungen gegen einander anzunehmen, vermöge deren das Muskelrohr bald kürzer und breiter, bald länger und dünner erscheint. Diesen Veränderungen seiner Form geht constant eine Reihe von andern Erscheinungen parallel, Erscheinungen, in denen zum Theil wenigstens der Grund der Formumwandlung zu liegen scheint; diese die Lagenveränderung der Theilchen begleitende Erscheinungen sind nun so beständig, dass sie selbst auch dann noch eintreten, wenn der Muskel durch mechanische Hindernisse gehemmt ist in die den andern vorhandenen Bedingungen entsprechende Form zu gelangen; sie sind also constanter als die Formumwandlungen. Wenn wir nun dennoch in den folgenden Betrachtungen die Ueberschriften der Abschnitte von den Formerscheinungen nehmen, so geschieht diess mit Vernachlässigung der Logik, die wir alter Gewohnheit zu Liebe geschehen lassen und die nach dieser Verständigung auch unschädlich ist. Weiterhin muss bemerkt werden, dass die im Folgenden mitzutheilenden Ergebnisse meist von Froschmuskeln gewonnen sind, die man darum als Beobachtungs-

*) Siehe über Asche des ganzen Pferdefleisches (der ursprünglich festen und flüssigen Theile) nach und vor Austreiben des Blutes aus den Gefässen Weber in Poggendorf Annal. 76. Bd. p. 305 und 81. Bd. p. 91.

objekte wählte, weil sie weniger rasch veränderliche Apparate darstellen, als die der warmblütigen Thiere.

A. Verlängerter Zustand des Muskelrohrs.

In verlängertem Zustand ist der Muskel mit besonderen elektrischen, elastischen, chemischen Eigenschaften und einer spezifischen Form begabt.

1. Elektrische Eigenschaften. Aufschlüsse, welche uns über die merkwürdigen elektrischen Eigenschaften des Muskels zu Theil geworden sind, verdanken wir den auch hier ausserordentlichen Leistungen von du Bois. Die Methoden, mittelst deren er die elektrischen Eigenschaften des Muskels untersucht, sind dieselben, die er bei der Aufdeckung der gleichen Verhältnisse der Nerven anwendete. Er bedient sich des Multiplikators und des stromprüfenden Froschschenkels.

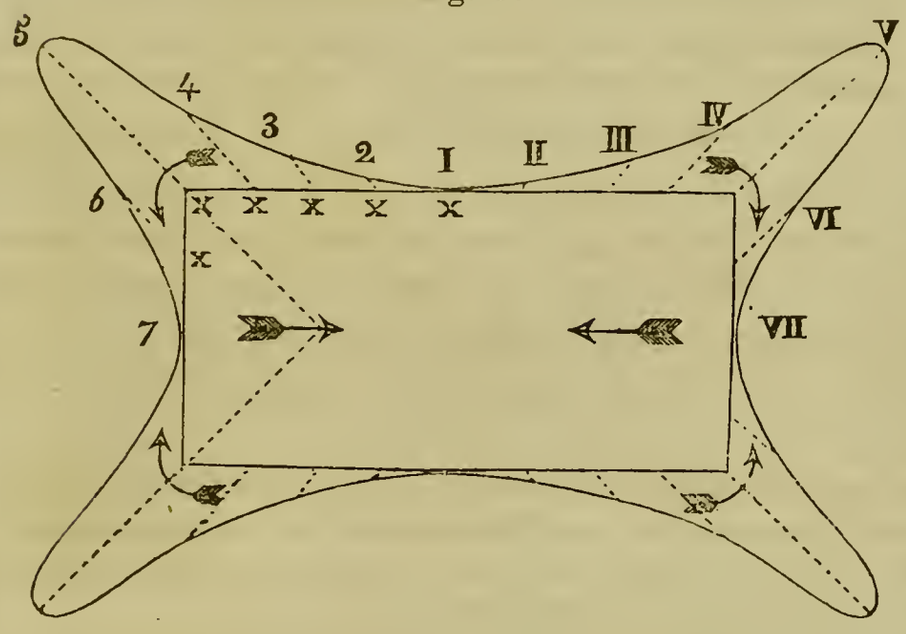
Der Multiplikator dient ihm abermals dazu, das Vorhandensein, das Wachsen, Sinken und die Richtung der im Muskel vorhandenen Ströme anzuzeigen. Da aber die Muskeln viel kräftigere Ströme nach aussen senden, als die Nerven, so ist es geboten, hier ein Werkzeug von einer viel geringeren Zahl, von höchstens 4000 bis 6000 Windungen anzuwenden. Im Uebrigen ist aber die Einrichtung dieses Multiplikators ganz dieselbe, welche demjenigen für den Nervenstrom zukömmt; hier wie dort münden die Drahtenden in Platinplatten aus, welche am oberen Ende gefirnisst, am unteren mit einer Hülle von Fliesspapier überzogen sind, und eben so tauchen sie in eine gesättigte Kochsalzlösung. In den beiden Gefässen, welche die Kochsalzlösung enthalten, liegt ausserdem der bekannte Zuleitungsbausch. Um den Kreis fortwährend elektrisch gleichartig zu erhalten, werden beide Zuleitungsbäusche durch den Schliessungsbausch überbrückt, und ihre freien Enden werden jedesmal mit Eiweisshäutchen überkleidet, auf die der Muskel zu liegen kommt, wenn er in den Multiplikatorenkreis eingeschaltet wird. Um leicht und allgemein verständliche Angaben über den Ort des auf die Bäusche aufgelegten Muskelstückes machen zu können, denkt man sich auch den Muskel als einen Cylinder, und nennt die der Längsausdehnung der Röhren entsprechende Seite den Längsschnitt, die seine Länge halbirende Linie den Aequator, und die senkrecht auf die Längsausdehnung gehende Richtung den Querschnitt, welcher den Namen des natürlichen führt, wenn er noch mit der Sehne in Verbindung ist, so dass diese eigentlich als Fortsatz des stumpfen Muskelendes den natürlichen Querschnitt vorstellt; künstlicher Querschnitt heisst dagegen der senkrecht gegen die Längsausdehnung geführte Schnitt, welcher das rothe Fleisch blosslegt.

Der Multiplikator ergibt unter der Voraussetzung gleicher Spannweite des ableitenden Bogens, dass auch ein Muskel durch den Draht Ströme in der Richtung von der Oberfläche zum Querschnitt sendet und dass je nach der Auflegung des Muskels sogenannte unwirksame, schwache und starke Combinationen vorkommen, oder mit andern Worten, dass bei Auflegung gewisser Muskelstellen gar keine, bei Auflegung anderer, schwache, und bei Auflegung noch anderer, starke Ablenkungen der Nadeln erwirkt werden.

Der Muskel schickt nämlich gerade wie der Nerv keinen Strom durch den Multiplikator, wenn er mit zwei Punkten auf den Bäuschen ruht, die symmetrisch zum Aequator liegen, gleichgiltig ob diese

zwei Punkte des Längs- oder des Querschnittes sind. (Unwirksame Combination.) Setzt man dagegen den einen Bausch auf den Aequator und den andern in einen nahegelegenen Ort des Längsschnitts, so erhält man eine schwache Nadelablenkung, die allmälig wächst, wenn man bei gleichbleibender Entfernung der abgeleiteten Stellen gegen den Querschnitt hinrückt; dasselbe ereignet sich, wenn man den einen Bausch auf den Mittelpunkt des Querschnittes aufsetzt und den andern gleichfalls auf den letzten in der Nähe des Mittelpunktes, und dann bei gleichbleibender Entfernung der Bäusche auf den Querschnitt sie gegen die Grenze des Längenschnitts vorrückt (Schwache Anordnungen). Die starke Anordnung erhält man endlich, wenn man den einen Bausch auf den (künstlichen oder natürlichen) Quer- und den andern auf den Längenschnitt auflegt. Aus dem Gang der Nadelablenkung erhält man also das Gesetz der allmäligen Stromeszunahme durch dieselbe Curve ausgedrückt, die uns schon der Nervenstrom gab. Fig. 81. Diese Curve hat zur Ordinatenachse die geraden, welche die Ecken des Rechteckes halbiren, wodurch der Muskeldurchschnitt dargestellt ist. Sie bedeutet, dass wenn man die Bäusche auf der Oberfläche und zwar den einen im und den andern nahe bei dem Aequator aufsetzt (1) (2) die Nadelablenkung gering ist und dass sie nach dem Werthe von $2x$; $3x$; $4x$; $5x$ wächst, wenn man die Bäusche auf 2, 3; 3, 4; 4, 5; u. s. w. fortrückt. Setzt man beide Bäusche zugleich an den Querschnitt an, so erscheint auf ihm dasselbe Gesetz des Stromwachsthums, wenn man mit der Stellung der Bäusche 6, 7 beginnt und zu 6, 5 fortschreitet. Da die Ströme, welche den Muskel umkreisen, vom Aequator nach entgegengesetzten Richtungen mit gleicher Stärke ausgehen und gegen den Querschnitt gleichmässig ansteigen, so werden bei einer Anlegung der Bäusche symmetrisch um den Aequator z. B. auf II, 2; 3, III u. s. f. zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung durch den Multiplikator kreisen, deren Wirkungen auf die Nadel sich gegenseitig aufheben müssen.

Fig. 81.



Am Muskel gilt ebenfalls die Thatsache, dass der Strom mit derselben Gesetzmässigkeit an Stücken von allen Grössen wiederkehrt, so dass man gleicher Richtung der Ströme und gleichen Gesetzen des Anwachsens begegnet, mag man ein längeres oder breiteres Stück noch so oft der Quer und Länge nach zerspalten. — Fernerhin ist auch hier nachweislich, dass Oberfläche und Querschnitt von einer Schichte indifferenten Leiters überzogen sind, und somit der Ort der elektrischen Gegensätze in dem Innern des Muskels, oder in der Muskelröhre zu suchen sei, denn ohne dieses würden die schwachen Ströme auf Längs- und Querschnitt nicht erscheinen können, und man dürfte kein Minimum geschweige, wie es der Fall ist, ein Maximum der Nadelabweichung erhalten, wenn man die Anordnungen Bausch, Längenschnitt, Querschnitt Längenschnitt, Bausch (s. d. entsp. Fig. 14 in der Nervenlehre) wählt.

Die Umstände, von denen bei sonst gleichen Verhältnissen die Grösse der Nadelablenkung abhängt, sind wiederum dieselben, denen wir bei den Nerven begegneten, die Länge, die Breite und die Lebenskräftigkeit des Muskels; denn es wächst die Nadelablenkung mit der Verlängerung und Verbreiterung des Muskelstückes, und die Grösse des elektrischen Gegensatzes zwischen Längen- und Querschnitt tritt um so mächtiger hervor, je fähiger der Muskel sich zeigt, mechanische Widerstände beim Uebergang der verlängerten in die verkürzte Form zu überwinden, mit andern Worten: je weniger ermüdet er ist. Demgemäss schliesst du Bois auch hier auf die Gegenwart sehr kleiner, mit elektrischen Gegensätzen behafteter Theilchen, welche sich in der sogenannten peripolaren Anordnung finden.

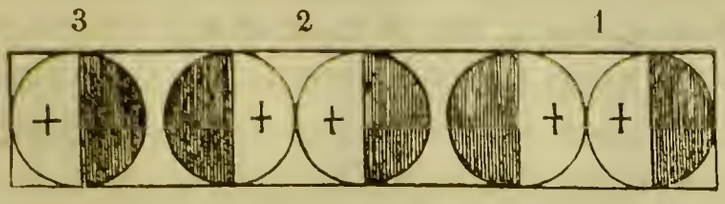
Nach allem diesen braucht nicht hervorgehoben zu werden, dass alles was bei dem ruhendem Nervenstrom über das Grössenverhältniss zwischen dem Stromarm, der die Molekeln unmittelbar umkreisst, und dem durch den Multiplikatordraht wandernden gesagt worden ist, auch hier seine Anwendung findet.

Der frische*) Muskel zeigt, so lange seine Sehne mit keinen andern Flüssigkeiten als mit Blut und Lymphe in Berührung war, die Eigenthümlichkeit, dass der von der Oberfläche zum Querschnitt gehende Strom sehr schwach auftritt; er erscheint aber augenblicklich verstärkt, sobald man die Sehne in eine beliebige Flüssigkeit, die nur eine andere als Blut und Lymphe sein muss, eintaucht; denselben verstärkenden Einfluss übt eine Berührung der Sehne mit einem festen Körper und noch lebhafter wird der Strom, wenn man die Sehne ganz entfernt und statt des natürlichen den künstlichen Querschnitt auf die Bäusche legt. Aus diesen Thatsachen geht hervor, dass der frische nur mit Blut und Lymphe berührte Muskel an dem natürlichen Querschnitt eine leicht zerstörbare Schichte besitzen muss,

*) du Bois Fortsetzung der Untersuchungen über thier. Electrizität. Berliner akadem. Monatsberichte. Juni 1851.

welche das Hervortreten des Gegensatzes zwischen Oberfläche und Querschnitt verhindert. Du Bois vermuthet, es geschehe dieses dadurch, dass von den zu einem peripolaren Systeme zusammengeordneten Molekeln am Ende der Röhre nur die eine Abtheilung vorhanden sei, wie dieses die Fig. 82 versinnlicht, in welcher 1 u. 2 ein vollkommen peripolares Molekel darstellen, 3 aber ein nur zur Hälfte vorhandenes. Es bedarf keiner Auseinandersezzung, dass durch eine solche Einrichtung, welche Oberfläche und Querschnitt positiv macht, der Gegensatz zum Verschwinden kommt. — Bei den Bewegungserscheinungen der Muskelmolekeln werden wir erfahren, warum gerade diese Annahme die meisten Gründe für sich hat.

Fig. 82.



Diese besonders gelagerte Schichte von Muskelmolekeln, welche du Bois mit dem Namen der parelectronomischen belegt, ist im lebenden Thier in verschiedentlicher Ausbildung vorhanden; am ausgeprägtesten oder vollständigsten erscheint sie bei Fröschen, welche sich längere Zeit in der Temperatur des schmelzenden Eises aufhielten, so dass an den Muskeln dieser Thiere scheinbar gar kein Strom oder auch ein Strom in umgekehrter Richtung erscheint. — Aber auch hier genügt die nur kurz dauernde Berührung der Sehne mit Wasser, Eiweiss, Alcohol, Säuren, Alkalien, Salzlösung u. s. w. u. s. w., um den Strom zu erwecken.

Durch den stromprüfenden Froschschenkel gelingt der Nachweiss des elektrischen Gegensatzes zwischen Längs- und Querschnitt ebenfalls leicht; und wegen der kräftigeren Ströme mit geringeren Hülfsmitteln als bei den Nerven. Es genügt, den freipräparirten n. ischiadicus des stromprüfenden Schenkels auf den Längsschnitt zu legen und ihn dann plötzlich mit einem andern Theile seiner Länge auf den Querschnitt zu senken um die Zuckung erscheinen zu machen. Hiebei ist es gleichgültig, ob man den natürlichen oder künstlichen Querschnitt wählt, vorausgesetzt, dass am erstern die parelectronomische Schicht durch ein entsprechendes Mittel (Salzwasser, Erhitzen etc.) zerstört ist. — Der hier erwähnte Versuch stellt die voreinst so berühmte Zuckung ohne Metalle dar, welche von Galvani entdeckt und durch v. Humboldt den Angriffen Volta's gegenüber aufrecht erhalten wurde.

2. Elastische Eigenschaften. Die Untersuchung der elastischen Eigenschaften des Muskels, welche von Ed. Weber*) in ausgezeichneter Weise begonnen wurde, ist aus theoretischen und praktischen Gründen von grosser Bedeutung. Zunächst gibt sie uns Aufschluss über die sogenannten molekulären Verhältnisse des Muskels, oder mit andern Worten, über den Werth der Kraft, mit welcher

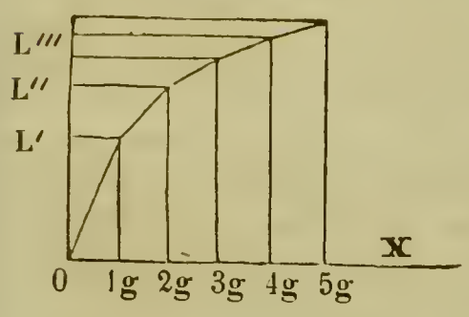
*) Muskelbewegung in Wagner's Handwörterb. III. 2. Abth.

die kleinsten Theilchen einer Masse ihre gegenseitige Lagerung zu erhalten, oder wenn sie aus ihr entfernt sind, wieder einzunehmen streben. Dieses Streben der kleinsten Theilchen einer scheinbar noch so homogenen Masse, ihre gegenseitige Lagerung zu behaupten, ist nun aber, wie die Erfahrung lehrt, meist nicht die Folge einer einfachen, sondern sehr complizirter Gegenwirkungen, und so u. A. namentlich der electrischen Spannungen, der Wärme, der Entfernung der Moleküle von einander (des spez. Gewichts) u. s. w. Soll demgemäss die Untersuchung über Elastizität dazu dienen uns über die molekulären Verhältnisse in das Klare zu bringen, so muss dieselbe mit Rücksicht auf die erwähnten und andere Umstände geschehen, so dass z. B. die Ausdehnbarkeit einer Masse durch Gewichte bestimmt würde, während sie verschiedene Temperaturen, electrische Spannungen u. s. w. angenommen hätte. Diese interessante Beobachtungsreihe ist am lebenden Muskel nicht in wünschenswerther Ausdehnung möglich, weil derselbe nur in sehr engen Grenzen möglicher Veränderungen seine Lebenseigenschaften bewahrt. Weber hat sich darum darauf beschränkt, die Elastizität des ruhenden Muskels in ihrer Veränderlichkeit zu bestimmen, mit dem Wechsel der Entfernung der Molekeln von einander (oder wie man auch sagt ihrer jeweiligen Spannung) und mit ihrem Vermögen, mechanische Leistungen zu vollführen (oder mit dem Grade ihrer Ermüdung). — Die Untersuchung der Muskelelastizität ist aber auch von nicht minderer praktischer Bedeutung; denn es versteht sich von selbst, dass eine Substanz, welche wie die des Muskels zum Tragen von Gewichten bestimmt ist, untersucht werden muss auf die Veränderungen der Form, die sie unter dem Einfluss der Gewichte erleidet.

Die Weber'schen Untersuchungen am frischen Froschmuskel haben gelehrt: a. Innerhalb niederer Grenzen des Werthes und der Zeitdauer der Ausdehnung ist die Elastizität (gleich der des Kautschouks) eine sehr vollkommene, d. h. es nimmt der Muskel genau seine frühere Form wieder an, wenn die durch Gewichte veranlasste Ausdehnung eine nicht allzubeträchtliche war, und wenn der Muskel nicht allzulange im ausgedehnten Zustande verharren musste. — b. Mit zunehmender Spannung des Muskels nimmt die Ausdehnbarkeit desselben rasch ab oder was Gleiches bedeutet, der Elastizitätscoeffizient rasch zu; denn die Beobachtung gab das Resultat, dass durch kleine Gewichte die Muskelfaser um einen grossen Bruchtheil ihrer Länge ausgedehnt wurde, dass aber die proportionale Ausdehnung nicht entsprechend dem Wachsthum der Belastung zunahm. Das Verhältniss zwischen dem Zuwachs der Verlängerung und der Belastung ist durch die Curve Fig. 83 versinnlicht. Auf die Ordinatenachse Y ist der Längenzuwachs in Bruchtheilen der Längeneinheit aufgetragen, welche durch die an die Querschnittseinheit angehängten Gewichte, wie sie der Rei-

henfolge nach auf X verzeichnet sind, erzeugt wurde. *) — Vergleicht man die von gleichen Gewichten $1g$; $1g$ bis $2g$; $2g$ bis $3g$; u. s. f. erzeugten Verlängerungen $0L'$, $L'L''$, $L''L'''$ u. s. f. so sieht man sogleich, dass eine gleich grosse Steigerung der Gewichte einen immer geringern Längenzuwachs erzeugt; demnach erhält die Curve eine Krümmung deren Convexität nach oben geht. — c. Die Ausdehnbarkeit des Muskels nimmt mit steigender Ermüdung desselben um ein Geringes zu.

Fig. 83.



Da die Muskelsubstanz in den verschiedenen Orten des thierischen Körpers einen ungleichen Gehalt an Binde- und elastischem Gewebe besitzt, so kann der absolute Werth der oben verzeichneten Ordinate (OL' L' L'', u. s. f.) nicht in allgemein giltiger Weise angegeben werden.

3. Wärmeeigenschaften. Die Temperatur des lebensfähigen, ruhenden Muskels ist in gewisse Grenzen eingeschlossen; für den Froschmuskel liegen dieselben ungefähr zwischen -3^0 C bis $+38^0$ C; tritt der Muskel aus dieser Temperatur heraus, so hat er momentan entweder seinen lebensfähigen Zustand überhaupt oder seinen ruhenden Zustand eingebüsst. — Aber auch innerhalb dieser Grenzen ist keineswegs jeder Grad gleich geeignet zur Erhaltung des Muskels; zahlreiche Erfahrungen haben festgestellt, dass der Muskel, wenn seine Temperatur dem obern oder untern Werthe der bezeichneten Grenze sich nähert, unter sonst gleichen Bedingungen rascher seinen lebensfähigen Zustand einbüsst, als wenn er auf die mehr gegen die Mitte liegenden Temperaturgrade erwärmt wird.

Daraus geht die Folgerung hervor, dass die freie Wärme sehr bestimmend auf das molekuläre Verhalten des Muskels einwirkt; inwiefern muss durch weitere Versuche noch ermittelt werden.

Die bis dahin vorliegenden Untersuchungen beschränken sich darauf, die Zeit zu ermitteln, welche nothwendig ist, damit ein in Wasser von constanter Temperatur liegender Muskel seine Fähigkeit einbüsst, durch einen electrischen Schlag in Zuckung versetzt zu werden. Diese Versuche, richtig angestellt, geben höchstens Aufschluss darüber, dass überhaupt dem lebensfähigen ruhenden Muskel eine Normaltemperatur nöthig sei. Vorerst leidet aber auch dieser Aufschluss noch an schweren Mängeln; denn man hat sich weder überzeugt, wie rasch der schlecht wärmeleitende Muskel die Temperatur des umgebenden Mediums annimmt; noch ob das Wasser nicht unabhängig von der Temperatur schädlich sei; noch wieviel in jedem Fall auf die Eigenthümlichkeit der Zusammensetzung und auf die von der Temperatur unabhängige Veränderlichkeit des jeweilig untersuchten Muskels zu schieben sei. Die wahre Aufgabe besteht nun aber darin, zu ermitteln, wie mit der Temperatur die inneren Zustände des Muskels, ausgedrückt durch die chemische Zusammensetzung, die electrischen Ströme, und den Elastizitätscoeffizienten wechseln. Als Anfänge zu einer solchen Betrachtung sind anzusehen du Bois Untersuchungen über die Steigerung des parelectronomischen Zustandes am erkalteten (?) und die zeitweise

*) Sie ist nach den Grundzahlen v. Ed. Weber l. c. p. 109 entworfen.

Umkehrung des Stroms am erwärmten Muskel; dieses letztere Verhalten werden wir bei der Wärmestarre noch einmal erwähnen.

Zur Erhaltung seiner Normaltemperatur liefert der Muskel selbst im Ruhezustand einen kleinen Beitrag, wie wir erschliessen, weil der stets mit Sauerstoff durchdrungene Muskel CO_2 entwickelt. Zum grössten Theil aber empfängt der Muskel im lebenden Zustand seine Wärme aus dem Blute. —

4. Chemische Eigenschaften. In der allgemeinen chemischen Charakteristik des Muskels wurde schon erwähnt, dass die Zusammensetzung desselben eine wechselnde sei, hier ist hinzuzufügen, dass dieser Wechsel mit dem physiologischen Zustand Hand in Hand geht. — Ob die ungelösten Bestandtheile des Inhaltes der Muskelröhre während ihrer Ruhe besondere nur diesem Zustand angehörige Eigenschaften zeigen, ist unbekannt; wir wissen dagegen, dass a. zur Behauptung der Lebenseigenschaften des Muskels die Gegenwart von freiem, in der Muskelflüssigkeit aufgelösten Sauerstoffgase nöthig ist. (Humboldt, du Bois, G. Liebig*). Dieser Sauerstoff verbindet sich unter nachweisslicher CO_2-Bildung fortlaufend mit einem Theil der Muskelsubstanz. b. Dass die Muskelflüssigkeit wenn sie aus einem Muskel gewonnen wurde, der längere Zeit im Ruhezustand befindlich war, sehr wenige in Alkohol lösliche Stoffe enthält (Helmholtz**) und neutral reagirt, sonach die sauren Salze oder die freie Säure entbehrt (du Bois). c. Dass der Röhreninhalt solcher Muskeln, welche unter sonst noch so günstigen Verhältnissen sehr anhaltend der Ruhe überlassen blieben, allmälig sich nicht allein mindert sondern auch umwandelt.

Um die Nothwendigkeit der Gegenwart des in den Muskeln anwesenden Ogases zu erweisen, hingen du Bois und G. Liebig die beiden Unterschenkel eines Frosches in verschiedene Gasarten und setzten die Zeit fest, während welcher sie sich in beiden Gasarten zuckungsfähig erhielten. Da jedesmal gleichzeitig die beiden Unterschenkel in verschiedene auf ihre Wirkung zu vergleichende Gasarten gebracht wurden, so waren damit die aus der Individualität des Frosches herrührenden Ungleichheiten beseitigt. Um den Gasen den Zutritt zur Muskelsubstanz zu erleichtern, waren die Schenkel vorsichtig ohne Verletzung der Fascien enthäutet; um das Eintrocknen der Schenkel zu verhüten, war der Gasraum, in dem sie sich befanden, gesperrt und mit HO-Gas gesättigt. Der electrische Schlag, durch den die Muskeln zur Zuckung veranlasst wurden, war für beide Schenkel dadurch gleichgemacht, dass derselbe zugleich durch beide Schenkel ging. Die Schenkel erhalten sich in O länger als in atmosphärischer Luft zuckungsfähig, und in dieser länger als in N, CO_2, H. — Das um die Muskeln befindliche Ogas wird von ihnen absorbirt, und zur Bildung von CO_2 verwendet, welche in die Atmosphäre austritt. Diese Sauerstoffabsorption und CO_2-Bildung ist um so lebhafter, je frischer der Muskel. Da nun die Muskeln auch noch fortfahren, CO_2 zu entwickeln, wenn sie durch Injection mit Wasser von Blut befreit und ausserdem in eine Atmosphäre von N aufgehängt waren, so muss O in der Muskelflüssigkeit aufgelöst gewesen sein, und daher rührt es

*) Müllers Archiv 1850. 393.
**) Müllers Archiv 1845. 72.

denn auch, dass die Schenkel in der andern Gasart nicht sogleich, sondern erst nach Verfluss einiger Zeit ihre Zuckungsfähigkeit einbüssen. — Das Genauere über die Abnahme des Gewichts und der Form der Muskeln in dem Zustand anhaltender Ruhe siehe bei der Ernährung derselben.

Die Gegenwart aller andern chemischen Stoffe in dem Muskel die für denselben nicht als charakteristisch aufgeführt wurden, ist für diesen von verschiedener Bedeutung; eine Zahl derselben zerstört die Lebenseigenschaft des Muskels für immer, so dass derselbe auch nach ihrer Entfernung todt zurückbleibt; eine andere Zahl verändert die Lebenseigenschaften nur so lange als sie selbst anwesend sind; zu diesen letztern gehört nach Stannius*) bemerkenswerther Weise die Blausäure; ein mit diesem Stoff inprägnirter Muskel büsst zwar momentan seine Lebenseigenschaft ein, ist aber die Säure, vorausgesetzt dass sie nicht zu lange einwirkte, verdunstet, so kehrt die Zuckungsfähigkeit des Muskels zurück.

B. Verkürzter Zustand des Muskelrohrs.

Wenn der Muskel mit den bisher geschilderten Eigenthümlichkeiten angethan ist, so verwandelt er sich unter dem Hinzutritt einer beschränkten Zahl von neuen Bedingungen in die verkürzte Form. Mit dem Eintritt dieser Formveränderung erscheinen aber auch zugleich seine elastischen, elektrischen, thermischen und chemischen Eigenschaften geändert; mit einem Wort, es geschieht eine vollkommene Umwandlung der molekulären Eigenschaften des Muskels.

Da diese Umänderung der molekulären Eigenthümlichkeiten als Folge einer Reihe von Bedingungen, die wir so eben als den lebenden, ruhenden Muskeln beschrieben haben, und einer Reihe von neuen, die man mit einem Worte Muskelerreger nennt, auftreten, so muss der Grad der Ausbildung, mit welchem die Verkürzung in die Erscheinung tritt, abhängig sein von dem Zustand des ruhigen Muskels und der Art und der Stärke des Muskelerregers. Nun besteht aber der ruhige Zustand des Muskels selbst wieder durch das Zusammenwirken einer sehr beträchtlichen Zahl von Bedingungen und es entwickelt sich darum die logische Aufgabe, zuerst zu untersuchen, welche Einflüsse Muskelerreger sind; ferner wie mit der Veränderlichkeit derselben und dem gleichbleibenden Zustand des Muskels, die Werthe der Formumänderung wachsen und fallen; darauf wie sich die letztern gestalten, bei gleichem Werth des Muskelerregers, und einem verschiedenen Gehalt des Muskels an Sauerstoff, Eiweiss, Säuren, Kreatin, Salzen u. s. w. oder wenn die wissensaftlichen Hülfsmittel die Zergliederung des Phänomens bis auf seine Elemente noch nicht erlauben, wie die Formveränderungen wechseln mit den primären resultirenden dieser Elementarfunktionen, nämlich mit dem Elastizitätscoeffizienten, der Stärke der elektrischen Strömung, der Wärme des ruhenden Muskels.

1. Muskelerreger. Zuerst werden wir demnach die Schwankungen der Muskelverkürzung mit der Veränderlichkeit der sogenannten Muskelerreger aufzufassen suchen.

*) Müllers Archiv 1852.

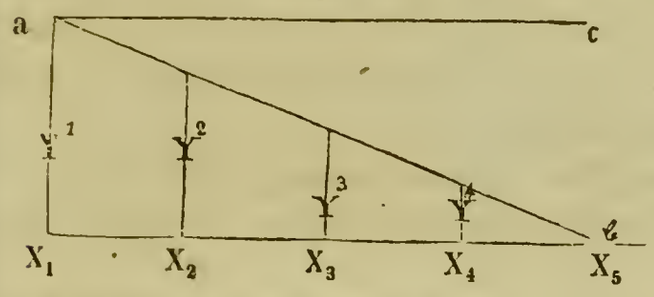
Ueber die Methode zur Anstellung dieser Versuche gilt das früher bei den Nerven bemerkte S. 109.

a. Die Verkürzung tritt jedesmal ein, wenn die in den Muskel eingehenden Nerven in den erregten Zustand oder genauer ausgedrückt, in denjenigen gelangen, der durch die elektronegative Stromesschwankung charakterisirt ist. Die Umstände aber, unter welchen der Muskelnerv überhaupt erregt wird, sind *α.* bestimmte nicht näher definirbare Seelenzustände, die wir mit dem allgemeinem Namen Willen bezeichnen. — *β.* Eigenthümliche Verhältnisse des Rückenmarks und Hirns, die wir unter dem nichtssagenden Namen, automatischer und reflektorischer Erregung, begreifen. — *γ.* Diejenigen Temperaturen, welche momentan mit ihrem Eintritt den Nerven zerstören. Nach Eckhard*) wird dieses im Froschnerven erreicht durch Temperaturen, welche jenseits — 3^0 bis — 5^0 R. und ebenso jenseits + 53^0 bis + 54^0 R. liegen. Mit der Länge der von diesen Kälte- oder Wärmegraden getroffenen Nervenstücke, wächst die Stärke der Zukkung, sie ändert sich dagegen nicht mit der Entfernung des getroffenen Stückes von dem Eintritt in den Muskel. — *δ.* Von den auf den Nerven angewendeten chemischen Atomen erzeugen nach Eckhard **) eine vorübergehende Zuckung begleitet von dem Absterben des Nerven Lösungen, die über 1 bis 2p.C KO und NaO; über 10 bis 20p.C NO_5 und ClH; über 45 bis 60 p.C SO_3 enthalten; ferner Metaphosphorsäure, sehr conzentrirte Essig- und Weinsäure; wässriger Alkohol von über 90 p.C, Kreosot; $AgONO_5$. — Anhaltende sog. tetanische Erregung erzeugen dagegen die zwei- und mehrprozentigen Lösungen von Na Cl; Ca Cl; Am Cl; KId; KO, $2CO_2$; NaO, $2CO_2$; NaO, SO_3 und KO, SO_3, ferner sehr conzentrirte Zuckerlösungen. Durch Eintauchen in Wasser mit einem Wort durch Auswaschen dieser Substanzen aus dem Nerven werden die Zuckungen gehoben und es bleibt der Nerv erregbar zurück. Zuckung erzeugt endlich ein rasches Eintrocknen des Nerven also eine Wasserentziehung (?). — Zahllose andere conzentrirte Lösungen selbst sehr kräftig wirkender chemischer Stoffe, wie die der gewöhnlichen Phosphorsäure, des Ammoniaks, der Metallsalze zerstören zwar den Nerven bringen ihn aber nicht in den Erregungszustand. — *ε.* Mechanische Veränderungen des Nerven erzeugen den zuckungserregenden Zustand desselben, aber nur vorausgesetzt, dass sie mit einer gewissen Langsamkeit auf ihn eindringen, während sehr rasch verlaufende mechanische Affektionen des Nerven, wie z. B. eine rasche Durchschneidung desselben (Valentin) keinen solchen erzeugen. — *ϑ.* Zu den Erregern des Muskelnerven gehört endlich der elektrische Strom; dieser vermag jedoch nur dann den Nerven in den bewegungserzeugenden Zustand zu versetzen, wenn die Stärke desselben während der

*) Henle u. Pfeufer X. 161.
**) Henle u. Pfeufer Neue Folge II. Bd.

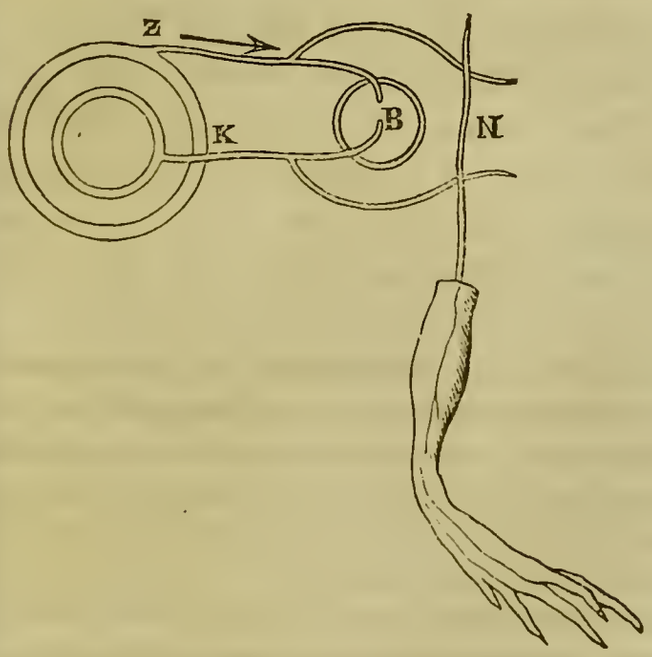
Dauer seiner Einwirkung auf den Nerven in Schwankungen begriffen ist; er erzeugt dagegen keine Zuckung so lange er mit gleichbleibender Stärke durch den Nerven strömt. Dieses von du Bois zuerst ausgesprochene Gesetz wird durch eine graphische Darstellung in vollem Umfang verständlich werden. Es mögen zu dem Behuf, Fig. 84, die Ordinaten Y die Stärken des Stromes bedeuten, welche er in verschiedenen Zeiten X_1 X_2 . . . besitzt, während er auf den Nerven wirkt,*) die Zeiten denken wir uns auf die Abszisse aufgetragen. Dem obigen Gesetz gemäss würde also ein Strom, dessen Intensitäten sich auf Y^1, Y^2, Y^3, Y^4 u. s. w. während der entsprechenden Zeit X_1, X_2, X_3, X_4 u. s. w. ändern, erregend wirken, während ein Strom von der Form $a\ c$, dessen Ordinaten während der ganzen Stromdauer unveränderlich sind, den Nerven in scheinbarer Ruhe lässt.

Fig. 84.



Die Mittel um die Elektrizität in veränderlicher Dichtigkeit durch den Nerven strömen zu lassen, sind sehr zahlreich; es möge genügen, einige derselben, die zugleich als Bestätigung des Gesetzes dienen, anzuführen. Berührt man einen Nerven, an dem noch der zugehörige Muskel befindlich, mit den Polen einer constanten elektrischen Batterie, so dass diese durch den Nerven geschlossen wird, so erscheint mit der Schliessung eine Zuckung, — die Schliessungszuckung —, während der Dauer des Schlusses bleibt der Muskel ruhig, er zuckt aber von Neuem, sowie man den Pol von dem Nerven entfernt, — die Oeffnungszuckung —, im ersten Fall stieg also der Strom in dem Nerven von Null bis zu dem hier möglichen Maximum seiner Stärke an; im zweiten Fall sank er von diesem auf Null zurück. — Die Schwankung der Stärke, die hier durch Oeffnung und Schliessung erzeugt wurde, kann begreiflich auch erzielt werden durch Veränderung in dem Leitungswiderstand bei geschlossener Kette. Schliesst man z. B. wie in Fig. 85 den Strom *K, Z, B, N* durch den Nerven, so kann man letztern so oft man will in den zuckungserregenden Zustand versetzen, wenn man die Nebenschliessung *B* bald öffnet und bald schliesst, weil hierdurch die Dichtigkeit des Stromarmes, welcher durch den Nerven kreist, fortwährend verändert wird, indem dann die entwickelte E. bald durch beide Stromarme gehen kann, bald aber auch nur auf einen sich beschränken muss.

Fig. 85.



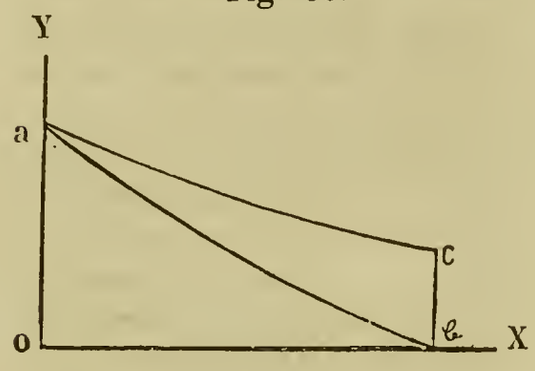
*) Die Ordinaten bedeuten also die Menge von Electrizität, welche in jedem unendlich kleinen Zeittheil durch den Querschnitt des Nerven strömt.

Aus dem du Bois'schen Gesetz folgt die wichtige Ableitung — die praktisch aber schon früher bekannt war — dass man von dem Nerven aus einen Muskel in dauernde oder tetanische Zusammenziehung versetzen kann, wenn man auf ihn einen elektrischen Strom von fortwährend veränderlicher Stärke (Intensität und Dichtigkeit) wirken lässt. Zu den elektrischen Apparaten, welche fortwährend veränderliche Ströme entwicklen und sich demgemäss zur Herbeiführung tetanischer Erregung besonders eignen, gehört die Saxton'sche Maschine (elektromagnetischer Rotationsapparat) und das Neef'sche Blitzrad, welches in einer von du Bois verbesserten Form *) sich vorzugsweise dem Physiologen nützlich erweist. —

Das Abhängigkeitsverhältniss des zuckungserregenden Nervenzustandes von der elektrischen Strommesschwankung gestaltet sich nun folgendermassen.

Der Umfang der Verkürzung wächst mit dem Werthe der Schwankung die der Strom in der Zeiteinheit erfährt, du Bois. Dieser Ausspruch ist in Fig. 86 graphisch dargestellt. Man trug zu dem Behuf auf die Abszisse X wiederum die Zeit auf, während deren ein Strom auf den Nerven wirkt, und auf die Ordinate Y die Veränderungen seiner Dichtigkeit während dieser Einwirkung. Wir wollen nun annehmen, es haben zu verschiedenen aber gleich langen Zeiten ob zwei Ströme auf den Nerven gewirkt, von denen der eine im Moment seiner Einwirkung mit der Stärke oa begann und nach Beendigung der Zeit ob mit Nullstärke schloss, während der andre mit der Dichtigkeit oa begann und nach Verfluss der Zeit ob mit einer solchen, welche bc entspricht, schloss, Dem obigen Gesetz gemäss wird der Strom ac schwächere Zuckung erregen als ab, weil die Steilheit des Abfallens der Schwankungscurve bei dem ersten Strom eine geringere war, als bei dem letzteren.

Fig. 86.



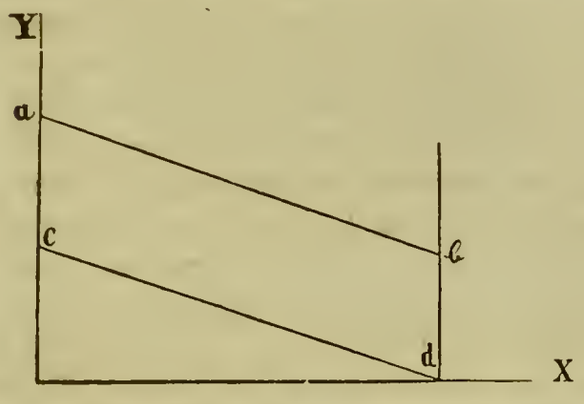
Obwohl das genauere Verhältniss zwischen der Schwankung der Stromstärke und dem Umfang der Zusammenziehung noch nicht ermittelt ist, so lässt sich doch in der oben mitgetheilten Weise das Bestehen irgend welcher Proportionalität zwischen beiden Vorgängen behaupten. Als eine der vielen Erfahrungen zur Stützung des Satzes diene die unter dem Namen des Einschleichens in die Kette bekannte Thatsache. Es besteht dieses Einschleichen darin, dass ein Muskel von einer sehr starken Kette nicht zur Zuckung gebracht wird, wenn man die Stärke ihrer Wirkung sehr allmälig wachsen lässt; dieses geschieht u. A. dadurch, dass man den Nerven in dieselbe einschaltet, während man gleichzeitig noch einen ganz ausserordentlich grossen Widerstand in sie einschiebt, so dass im Moment des Nerveneintritts kaum ein Strom den Kreis durchläuft; vermindert man nun ganz allmälig den Widerstand, oder mit andern Worten steigert man ganz allmälig den Strom, so kann man den Nerven ohne eine

*) Du Bois; thierische Electr. II. Bd. 1. Abth. 393 Note.

Zuckung von ihm zu erhalten in einen Strom bringen, der den Nerven, vorausgesetzt, dass derselbe rasch in ihn eingeführt worden wäre, in die lebhafteste Erregung versetzt haben würde.

Die Grösse der Verkürzung wechselt ferner bei gleicher Schwankung des Stromes mit dem absoluten Werth der Stromstärken zwischen denen die Schwankung vor sich geht; graphisch ausgedrückt wird also die durch die Curve *a b* Fig. 87 dargestellte Schwankung eine grössere Wirkung ausüben als die der Curve *c d* entsprechende. Indem wir nämlich auch hier, nach der uns schon geläufigen Bezeichnungsweise die Stromstärken und Zeiten durch *Y* und *X* ausdrücken, gewahren wir, dass die Differenzen zwischen den Stromstärken, welche zu Anfang und Ende der Zeiteinheit bestanden, in beiden Fällen gleich sind, dass dagegen die absoluten Werthe dieser Stromstärken selbst in beiden Fällen verschieden waren. Dieses Wachsthum der Muskelverkürzung mit dem Werthe der Stromsträrken gilt jedoch nur so lange als der Strom überhaupt ein schwacher ist; ist die Dichtigkeit des Stromes, welcher den Nerven durchfliesst nur einigermassen bedeutend geworden, so erzielt er sogleich das Maximum der möglichen Verkürzung d. h. es kann durch weitere Steigerung der Stromstärke keine noch weitergehende Verkürzung erzielt werden. — Belege für diese Behauptung siehe bei Helmholtz.*)

Fig. 87.



In einem sehr merkwürdigen Verhältniss steht weiterhin die Erregung des Muskelnerven zu der Richtung des ihn durchkreisenden Stromes; wir werden hier in der Kürze alle darauf bezügliche sichere Thatsachen mittheilen, die unter dem Namen des Gesetzes der Zuckungen und der Veränderung der Erregbarkeit durch den geschlossenen Strom bekannt sind. —

Gesetz der Zuckungen. In den höhern Graden der Erregbarkeit erscheint jedesmal eine Zuckung bei Schliessen oder Oeffnen eines den Nerven durchkreisenden Stromes gleichgiltig ob dieser in der Richtung vom Muskel zum Rückenmark — aufsteigend **) — oder in der Richtung vom Rückenmark zum Muskel — absteigend — den Nerven durchfloss; wenn dagegen die Erregbarkeit sich allmählig abschwächt, erscheint beim Schliessen des absteigenden Stroms eine heftige, bei Eröffnen desselben dagegen nur eine sehr schwache oder gar keine Zuckung mehr; gerade umgekehrt verhält sich der aufsteigende Strom; beim Schluss desselben tritt entweder keine oder nur eine sehr schwache Zuckung auf, während sie bei Eröffnung desselben ausserordentlich stark wird. Diese von Ritter zuerst aufgestellte Regel erleidet jedoch mannigfache Ausnahmen, so dass unter Umständen die Strö-

*) Messungen über den zeitlichen Verlauf u. s. w. Müllers Archiv 1850.

**) In gebräuchlicher Weise verstehen wir auch hier unter Stromesrichtung die des positiven Stromes, welcher durch die flüssigen Theile der Kette in der Richtung von dem positiven zum negativen Metall geht.

mungsrichtung sich zwar noch von Einfluss erweist, aber gerade umgekehrte Erfolge erzeugt. Eine dieser Umkehrungen des Gesetzes der Zuckungen findet sich normal nach Longet's und Matteucci's Erfahrungen an den vordern Wurzeln der Rükkenmarksnerven; wenn man auf diese, statt auf den Nervenstamm nach seinem Austritt aus dem Rückenmarkskanal verschiedene Strömungsrichtungen wirken lässt, so erscheint, unter der Bedingung eines niederen Grades der Erregbarkeit, mit der Schliessung des aufsteigenden Stroms und der Oeffnung des absteigenden Zuckung, während sie bei der Oeffnung des aufsteigenden und der Schliessung des absteigenden ausbleibt.

Veränderung der Erregbarkeit durch den geschlossenen Strom. Der geschlossene Strom schwächt den Muskelnerven wie alle andere ab, er verändert ihn aber auch eigenthümlich und zwar verschiedentlich, je nach der Stromstärke, der Stromdauer und je nachdem der Strom auf den herausgeschnittenen Nerven oder den des unversehrten Thiers einwirkt. — Lässt man den aus dem Thier herausgelösten, nur noch mit einem Muskel in Verbindung befindlichen Nerven in einem schwachen absteigenden Strom längere Zeit z. B. ½ bis 1 Stunde hindurch liegen, so bleibt der Muskel bei wiederholtem Oeffnen und Schliessen der Kette regungslos, er geräth dagegen unter denselben Umständen in die lebhaftesten Zukkungen wenn der Strom in aufsteigender Richtung durch ihn drang. Es ist also wenigstens scheinbar durch den absteigenden Strom die Erregbarkeit gelähmt, durch den aufsteigenden aber erhöht worden, Ritter. Anders gestaltet sich die Erscheinung, wenn man statt eines schwachen einen starken Strom anwendet; in diesem Falle bleibt der Nerv scheinbar erregungslos zurück, wenn anhaltend ein Strom gleichgiltig in welcher Richtung durch ihn ging, denn es kann durch Oeffnen oder Schliessen desselben Stroms keine Zuckung erzeugt werden. Kehrt man nun aber die Strömungsrichtung um, lässt man also z. B. einen Nerv, der bisher absteigend durchflossen war, aufsteigend durchströmen, so verhält er sich dieser neuen Strömungsrichtung gegenüber wieder erregbar; so kann man wechselnd den Nerven bald für die aufsteigende, bald für die absteigende Richtung lähmen; während er der Anregung des jeweilig entgegengesetzten Stroms Folge leistet. Voltaische Alternative. Die Zeitdauer, in welcher die vollkommene Trägheit des Nerven gegen den gerade ihn durchkreisenden Strom eintritt, ist über eine gewisse Grenze unabhängig von der Stromstärke, Marianini. Diese ganze Erscheinungsweise der Voltaischen Alternative soll nach Marianini an dem unversehrten mit dem ganzen Thier in Verbindung befindlichen Nerven nicht sichtbar werden, indem hier in jedem Augenblick die durch den Strom erzielten Veränderungen von den nervösen Centraltheilen wieder ausgeglichen werden. — Siehe über diesen für die Theorie der Nervenwirkungen wichtigen Gegenstand du Bois, I. Bd. 258 u. f.

Einen besonderen Fall von Veränderung der Erregbarkeit durch den galvanischen Strom hat C. Eckhard erörtert, der nicht allein durch seine praktische Folgen, sondern auch darum Wichtigkeit empfängt, weil er als eine Ableitung aus der elektrischen Theorie der Nervenkräfte anzusehen ist. Dieser Fall besteht aber darin, dass ein Muskelnerv, wenn ein aliquoter Theil desselben in den constanten galvanischen Strom eingeschaltet ist, durch einen gleichzeitig anwesenden Erreger nicht mehr in den zuckungserzeugenden Zustand versetzt werden kann; mit andern Worten der Nerv ist so lange gelähmt als ein Theil desselben von einem constanten Strom durchflossen wird. Der Grund dieser Erscheinung scheint darin gesucht werden zu müssen, dass der constante Strom die elektrischen Molekeln der Nerven peripolar anordnet (in den elektrotonischen Zustand versetzt p. 82) und sie somit verhindert in die Schwankungen zu gerathen, welche der Erregung der Nerven eigen sind.

Der Versuch zur Darstellung dieser Erscheinung besteht darin, dass man durch ein Stück eines ausgeschnittenen mit dem Muskel noch in Verbindung stehenden

Froschnerven die Pole einer galvanischen Säule schliesst; wenn man dann die Schläge eines Induktionsapparats, mechanische oder chemische Mittel, sei es auf das freie Ende des Nerven oder auf das zwischen constanter Säule und Muskel liegende Stück anwendet, so sind diese erst dann vermögend Zuckung zu erzeugen, wenn man die constante Kette öffnet. — Unter den Variationen, welche Eckhard an diesem Grundversuch vorgenommen hat, sind diejenigen hervorzuheben, in welchen er sich als Erregungsmittel des elektrischen Stromes von schwankender Stärke bediente. Hiebei ergab sich 1) dass das Verhältniss zwischen der Stärke des erregenden (schwankenden) und constanten Stromes nicht gleichgiltig ist; soll der letztere die physiologische Wirkung des ersteren aufheben, so darf er nicht unter eine gewisse Stärke sinken. 2) Die lähmende Wirkung der constanten Kette tritt beträchtlicher hervor, wenn sie eingeschaltet ist zwischen den Muskel und die erregende, während sie schwächer wirkt, wenn sie (vom Muskel an gerechnet) jenseits der erregenden liegt. 3) Die aufsteigende Richtung des Stromes (vom Muskel gegen das freie Ende) in der constanten Kette hält stärkeren erregenden Strömen das Gleichgewicht als die absteigende. Diese Versuche verdienen eine genaue Verfolgung mit dem Multiplikator.

Der Winkel, unter welchem der erregende elektrische Strom die Längenachse des Nerven durchsetzt, ist von nicht minderer Bedeutung für den Umfang der Verkürzung; durchdringt er den Nerven rechtwinklich, so bleibt er vollkommen wirkungslos. Seine volle Wirkung entfaltet er nur dann, wenn er den Nerven nach der Längenachse desselben durchfliesst; Galvani.

Die einfachste und sicherste Methode zur Darstellung dieser Thatsache ist die, den Nerven mit einem wohl befeuchteten leinenen Faden, der von einem Strom durchzogen wird, in Verbindung zu bringen und zwar bald in der Art, dass man den Nerven senkrecht auf die Richtung des Fadens legt, bald ihn der Länge nach an ihn anschmiegt.

Endlich übt es einen Einfluss auf die Stärke der Zuckung, ob ein kürzeres oder längeres Stück des Nerven zwischen die Pole der erregenden Säule gefasst wird; im Allgemeinen wächst mit der Verlängerung des eingeschalteten Nervstückes der Werth der Verkürzung; du Bois.

b. Genau dieselben Mittel, welche den Nerven in die zuckungserregende Beschaffenheit versetzen, bringen die Zuckung auch hervor, wenn sie direkt mit den Muskeln in Berührung kommen. Die Uebereinstimmung ist, so weit unsre Kenntnisse reichen, vollkommen genau, so dass alles hier und dort gleichmässig gilt; es lag darum die Controverse nahe, dass der Muskel überhaupt nur durch den Nerv hindurch zur Zusammenziehung angeregt werde, indem man annahm, dass auch die in den Muskel direkt eindringenden Einflüsse zunächst auf die in ihm enthaltenen Nerven wirkten. Wir werden diese Controverse erst an einen späteren Ort (p. 354) aufnehmen.

2. Muskelerregbarkeit. Wir wenden uns zu der zweiten Reihe von Bedingungen mit denen der Werth der Verkürzung des Muskels veränderlich ist; nämlich zu der Variation der inneren Zustände des Muskels. — Leider ist dieser schwierige aber unendlich wichtige Theil unseres Gegenstandes noch sehr wenig und da auch

noch meist sehr mangelhaft in Angriff genommen. — a. Mit dem vermehrten Sauerstoffgehalt des Muskels steigt nach Humboldt und G. Liebig die durch denselben Erreger erzeugbare Verkürzung.

Die Beweise für diesen Satz liegen darin, dass ein in Ogas aufgehängter Frosch-Schenkel schon durch ein Minimum von Anregung in ein Maximum der Verkürzung kommt; Humboldt. Noch schärfer sind die Thatsachen von G. Liebig, welcher in den oben beschriebenen Versuchen oft den Muskel, welcher in O haltendem Gase und einen anderen der in Ngas und Hgas sich aufhielt, auf gleiche Weise erregte; hier ergab der in O haltendem Gas hängende Muskel immer kräftigere Bewegungen.

b. Die Gegenwart bestimmt zusammengesetzter Extractivstoffe übt einen Einfluss auf die Verkürzbarkeit; wir erschliessen dieses, weil auf die tetanische Zusammenziehung des Muskels eine auffallende Unfähigkeit zur Verkürzung folgt; der einzige nachweissliche Unterschied zwischen dem Muskel vor und nach dem Tetanus besteht nun aber darin, dass im letztern Zustand die Summe der wässrigen Extracte ab-, um die der weingeistigen zugenommen, ferner, dass die neutrale Reaction des Muskels in eine saure übergegangen ist, und dass wahrscheinlich die im Muskel enthaltene CO_2 sich gemehrt hat. — c. Je ausgesprochener der elektrische Gegensatz zwischen Oberfläche und dem von seiner parelectronomischen Schicht befreiten Querschnitt erscheint, um so verkürzbarer ist der Muskel; du Bois. — d. Die Bedeutung des Wärmegrades für den Muskel ist schon vorhin gewürdigt.

Da nun aber die Veränderlichkeit, welche in den Werth der Zuckung durch den jeweiligen Muskelzustand eingeführt wird, nur in ganz wenigen Fällen auf einen ihrer wahren Gründe zurückgeführt ist, und dieses in dem einzelnen Versuch fast niemals geschehen kann und man doch ein Wort zum Verständniss braucht, welches diese Veränderlichkeit andeutet, so hat man sich die harmlosen Ausdrücke, Erregbarkeit, Leistungsfähigkeit gebildet, welche ohne auf den Grund der Erscheinung einzugehen, die einfache Thatsache aussprechen, dass der Grad der Zusammenziehung eines Muskels auch noch von etwas anderem als dem besonderen Auftreten der Erreger abhängig sei.

Das Wort Erregbarkeit bezieht sich im Allgemeinen auf die Veränderlichkeit der Verkürzung durch denselben Erreger, während die Leistungsfähigkeit hindeutet auf das Vermögen, Gewichte zu einer bestimmten Höhe zu heben, oder während einer bestimmten Zeit unter dem Einfluss eines Erregers seine Form zu behaupten.

Die Leistungsfähigkeit eines Muskels nimmt nun, wie Jedermann bekannt, mit der unternommenen Anstrengung ab; diese besondere Veränderung der Leistungsfähigkeit belegt man mit dem Namen der Ermüdung. Wie demnächst bewiesen wird, ermüdet die Zusammenziehung den Muskel darum, weil sie die chemische Beschaffenheit umgestaltet. Man sollte darum auf den ersten Blick denken, dass es sinnvoll wäre, dieses Mittelglied, die Beschaffenheitsveränderung des Muskels, einmal ganz bei Seite zu setzen und den Grad der erniedrigten Leistungsfähigkeit mit der Zeit und der Energie der sie bedingen-

den Zusammenziehung zu vergleichen, d. h. die Ermüdung als eine Funktion des letzteren Umstandes aufzufassen; in diesem Sinne könnte denn auch die Ermüdung einen Massstab abgeben, wie mit der Zusammenziehung die chemische Umwandlung der Muskelsubstanz wachse und falle. Diese Hoffnung verwirklicht sich aber in nur sehr untergeordneter Weise, da es sich herausstellt, dass die durch die Zusammenziehung eingeleiteten Veränderungen nicht die einzigen sind, welchen der Muskel ausgesetzt ist. Namentlich aber ergibt eine genauere Ueberlegung, dass die in der Ermüdung zum Vorschein kommende Leistungsfähigkeit resultirt aus gleichzeitig vorhandenen erhaltenden und vernichtenden Einflüssen.

Zu allen Zeiten und insbesondere auch in der Zeit der Zusammenziehung wirken sich in Muskeln Umstände entgegen, von denen die einen eine erhaltende und die andern eine zerstörende Resultirende erzeugen; die ersten dieser beiden, die erhaltenden Einflüsse, wirken in dem Muskel, welcher sich noch mit dem lebendigen Blutstrom in Berührung befindet, kräftiger, als in dem ausgeschnittenen. Dieses geht schon daraus hervor, dass der ausgeschnittene Muskel durch viel geringere Anstrengung ermüdet, als der noch im lebenden Thiere befindliche; sie fehlen jedoch auch dort nicht, da erwiesener Maassen ein ausgeschnittener Muskel, der durch eine vorhergehende Anstrengung seine Zusammenziehungsfähigkeit gänzlich verloren hatte, sie nach einiger Zeit der Ruhe wieder gewinnt. Diese erhaltenden Einflüsse sind wahrscheinlich dargestellt durch das Blut und die Muskelflüssigkeit, welche, obwohl sie ebenfalls aus dem Blute stammt, doch in so fern neben ihm selbständig steht, als sie unabhängig von demselben sich in ihrer Zusammensetzung ändert. Die Betheiligung des Blutes zeigt sich eben darin, dass ein unversehrter, von normalem Blute durchströmter Muskel später in die Ermüdung tritt; ferner darin, dass mit der steigenden Muskelanstrengung der Verbrauch des Bluts wächst, und endlich, dass man im Blute die Reste der umgesetzten Muskelstoffe findet. — Auf die erhaltenden Wirkungen der Muskelflüssigkeit schliessen wir aber aus der Art und Weise, wie sich der ausgeschnittene Muskel wieder erholt. Diese Wiederherstellung geschieht nämlich nur in sehr engen Grenzen, indem der zum ersten Mal vollkommen erschöpfte Muskel sich nur zu einem sehr untergeordneten Grad von Leistungsfähigkeit erhebt; wird diese noch einmal durch anhaltende Zusammenziehung vernichtet, so erholt sich der Muskel zwar noch einmal, aber in weit geringerem Maasse; hiermit schliesst dann aber überhaupt die Erholungsfähigkeit; die ganze Erscheinung bietet sonach das Aussehen, als ob die Wiederherstellung aus einem sich verbrauchenden Vorrath von Ernährungsflüssigkeit geschehe. — Wie nun schon aus dem bisherigen hervorgeht, muss die Bedeutung dieser erhaltenden Einflüsse mit den Umständen sich sehr ändern, eine Ableitung, welche die Erfahrung vollauf bestätigt, da auch ein und derselbe Muskel innerhalb des Thierkörpers, oder die gleichnamigen ausgeschnittenen Muskeln möglichst gleichartiger Thiere durch dieselbe Anstrengung auf ganz verschiedene Weise erschöpft werden.

Wollte man demgemäss in der oben angegebenen Weise die Ermüdung, d. h. den vernichtenden Einfluss der Muskelzusammenziehung studiren, so müsste man entweder die Erholung erzeugenden Umstände ganz zum Verschwinden bringen, oder sie wenigstens beim Wechsel der ermüdenden Bedingungen gleich erhalten. Diese schwierige Aufgabe hat man nun bis dahin nicht zu lösen versucht; es ist somit Ermüdung im gewöhnlichen Sinne als der Zustand zu nehmen,

welcher resultirt aus beiden Einflüssen. Bei der wahrscheinlichen Zusammengesetztheit der Wirkungen eines jeden derselben, können natürlich die resultirenden Prozesse eine unsägliche Mannigfaltigkeit besitzen. Im Allgemeinen scheint aber doch festzustehen, dass die Ermüdung wächst mit der Zeitdauer der Anstrengung, mit dem Werthe der Verkürzung und mit der Grösse des zu hebenden Gewichtes.

3. Form des verkürzten Muskels. Grösse der Verkürzung. Die bei der Zusammenziehung stattfindenden sichtbaren Vorgänge bestehen darin, dass die während der Ruhe im Zickzack gebogenen oder geschlängelten Muskelröhren sich unter Verminderung ihrer Länge und Vergrösserung ihres Querschnitts gerade strecken; zugleich erscheinen die Querstreifen schärfer und deutlicher, indem sie näher aneinder rücke; Ed. Weber. — Um welchen Proportionaltheil der ursprünglichen Länge sich der Muskel verkürzt, hängt von Umständen ab, die wir theils schon kennen lernten, theils noch kennen lernen werden; das von Ed. Weber unter den günstigsten Bedingungen beobachtete Maximum betrug $\frac{5}{6}$ der Länge des ruhigen Muskels. Hiebei verbreitert der Muskel nicht genau seinen Queerschnitt um eben soviel als seine Länge abnimmt, so dass eine unbeträchtliche Volumänderung und zwar eine Raumverkleinerung eintritt; bei der Umlegung der einen in die andere Form verdichtet sich also der Muskel um ein Geringes; Erman.

Die mikroskopische Beobachtung des sich verkürzenden Muskels geschieht nach Ed. Weber am besten, wenn man mit einem sehr dünnen Muskel eines Frosches die Enden eines elektrischen Induktionsapparates überbrückt, welche in das Objektivglas eingelassen sind. Während der Beobachtung setzt man den Muskel in tetanische Erregung. — Zur Bestimmung der Muskelverdichtung dient ein geschlossenes mit Flüssigkeit gefülltes Gefäss, in das die Enden eines Induktionsapparates geleitet sind, und das nach oben in ein feines, zum Theil mit Flüssigkeit gefülltes Röhrchen ausläuft. Wen man nun den Muskel auf die Enden des Induktionsapparates in der Flüssigkeit legt und durch denselben den Muskel in Zusammenbringung bringt, so kann man aus dem Sinken und Steigen des Flüssigkeitsstandes im Röhrchen ersehen, ob Volumveränderungen des Muskels eintreten. Bei Anstellung des Versuchs ist begreiflich nöthig, die Anwesenheit von Luftblasen in den Blutgefässen des Muskels zu vermeiden, und zweckmässig als Flüssigkeit statt des Wassers Milch, Blutserum und ähnliche Stoffe zu wählen, weil in diesen der Muskel längere Zeit seine Lebenseigenschaften erhält.

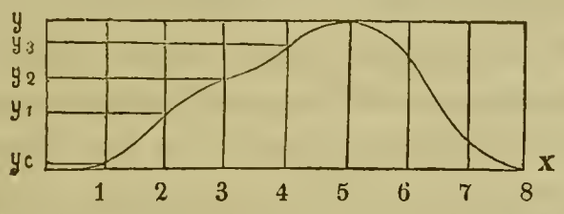
4. Zeitlicher Verlauf der Zusammenziehung*). Wenn ein Erreger auf den Muskel wirkt, so beginnt nicht augenblicklich mit dem Eintritt desselben die Verkürzung, sondern erst eine kurze Zeit nach dem Eintreten jenes; hieraus folgt, das wenn ein Erreger während einer verschwindend kleinen Zeit den Muskel trifft, dieser seine

*) Helmholtz, Ueber den zeitlichen Verlauf u. s. w. Müllers Archiv 1850. 276. Messungen über Fortpflanzungsgeschwindigkeit u. s. w. ibid. 1852. 199. — Volkmann, Ueber das Zustandekommen der Muskelcontraktion. Leipziger Berichte. Mathemat. physische Classe 1851. 1. Ueber die Kraft u. s. w. ibid. 1851, 54.

Zusammenziehung erst beginnt, nachdem der erregende Einfluss schon entfernt war, wie sich dieses z. B. ereignet, wenn man durch den Muskel einen electrischen Funken sendet; Helmholtz. Hat aber die Bewegung des Muskels begonnen, so verkürzt er sich zuerst mit beschleunigter und dann abnehmender Geschwindigkeit und erreicht dabei ein bestimmtes Maximum der Verkürzung; von hier ab verlängert sich nun der Muskel und zwar mit allmälig steigender Beschleunigung. Zwischen den Zeiten des Auf- und Absteigens scheint kein bestimmtes Verhältniss zu bestehen. Die ganze Zeit, welche verwendet wird zur Vollendung eines solchen Ganges wächst im Allgemeinen mit der Grösse der Verkürzung (Ed. Weber, Helmholtz) mit der Schwere des zu hebenden Gewichtes und mit der abnehmenden Leistungsfähigkeit des Muskels; Helmholtz.

Die zeitlichen Beziehungen, welche zwischen dem Eintritt des zuckungerregenden Einflusses dem Beginne und Maximum der Verkürzung und der Wiederherstellung des verlängerten Zustandes stattfinden, sind beispielsweise in Fig. 88 ausgedrückt. — In dieser Curve bedeuten die Höhen, welche auf der Ordinate y verzeichnet sind, die absoluten Werthe der Verkürzung, welche eintreten, als ein momentaner elektrischer Schlag den Muskel traf; die auf der Abszisse x gleichweit abstehenden Zahlen 0, 1, 2, 3, 4, ... 8 drücken die Zeiten aus, welche verbraucht wurden, um den Muskel in den jeweiligen Zustand der Verkürzung zu bringen. Die gleichen Zwischenräume zwischen je zwei aufeinander folgenden Zahlen entsprechen einer Zeit von 0,025 Secunden; während der elektrische Schlag, welcher zur Zeit 0 den Muskel traf, bei weitem noch nicht 0,0015 Sec. anhielt. Demgemäss kann die Zeit während welcher der elektrische Schlag anhielt, als verschwindend klein gegen den ganzen von 0 bis 8 betragenden Zeitraum angesehen werden. Betrachten wir nun die Curve genauer, so ergibt sich, dass ungefähr 0,02 Sec. nach Anwendung des momentan dauernden Erregers verstrichen, bevor der Muskel sich zu verkürzen anfing; dass dann vom Beginn der Zuckung an sich der Muskel zuerst mit grösserer und dann immer abnehmender Geschwindigkeit verkürzt, wie dieses durch die immer kleiner werdenden Zwischenräume zwischen $y^0 y^1$, $y^1 y^2$ u. s. w. ausgedrückt wird, und umgekehrt, dass der Muskel sich zuerst langsamer und dann rascher und rascher verlängert. Die ganze Zeit, in der vom Beginn der Verkürzung an der Muskel das Maximum derselben erreichte, beträgt 0,180 Sec. und derjenige, welche zur Einkehr in seine alte Lage nothwendig 0,105 Sec.

Fig. 88.



Die mitgetheilte Curve hat Helmholtz unmittelbar durch den Froschmuskel zeichnen lassen; es geschah dieses nach den Grundsätzen des graphischen Verfahrens von Watt. Der Muskel wurde nämlich an seinem oberen Ende befestigt aufgehängt, an dem untern Ende wurde mittelst einer Klemme ein Schreibstift angebracht, welches ohne Reibung auf einen berussten, ebenfalls vertikal stehenden Cylinder reichte; der Cylinder wurde dann mit gleichmässiger Geschwindigkeit bewegt, so dass fortlaufend andere Punkte desselben mit dem Stift in Berührung kamen; war der Muskel in seiner normalen Länge, so beschrieb er beim Umgang des Cylinders auf diesen die Linie x (unserer Abszisse). Verkürzte er sich aber, so erhob sich der Stift und dieser zeichnete eine Linie, welche den zeitlichen Gang und den Grad der Verkürzung darstellte. Ueber das Genauere dieser feinen Versuche siehe Helmholtz.

Die Richtigkeit und Allgemeingültigkeit des Verlaufes der Curve hat Helmholtz noch auf eine andere Weise und Volkmann durch ein ähnliches Verfahren dargethan. Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass dagegen jede von einem andern Muskel entnommene Curve Besonderheiten zeigen wird, entsprechend dem ihm angehängten Gewicht und seiner Erregbarkeit.

Die über den zeitlichen Verlauf der Zuckung mitgetheilten Thatsachen fordern die Annahme, dass während derselben die kleinsten Theilchen des Muskels unter der Einwirkung von Kräften stehen, deren resultirende Wirkungen nach zwei entgegengesetzten Richtungen gehen, indem die eine die Muskelröhren zu verkürzen strebt, während die andere umgekehrt den ursprünglichen Zustand zu erhalten oder den Muskel, wenn er verkürzt worden, wieder zu verlängern sucht. Betrachten wir nach dieser Voraussetzung die Curve noch einmal, so sehen wir zunächst, dass von dem Augenblicke an, wo die Wirkungen der verkürzenden Kraft in die Erscheinung treten, diese zuerst ein steigendes Uebergewicht erhält, indem anfangs in gleich langer aufeinanderfolgender Zeit grössere und grössere Strecken auf der Bahn der Verkürzung zurückgelegt werden. Neben diesen verkürzenden steigern sich aber auch bei einer gewissen Grösse der erlangten Formumwandlung die verlängernden Kräfte, und erhalten sogar bald das Uebergewicht über die verkürzenden, was an der Curve sich dadurch ausdrückt, dass von einem gewissen Zeitraum an die Verkürzung mit abnehmender Geschwindigkeit geschieht; dieses Wachsthum der verlängernden Kräfte steigert sich endlich zu dem Grad, dass in der That eine Umkehr der Bewegung stattfindet, d. h. dass der Muskel sich wieder so lange ausdehnt, bis er seine ursprüngliche Länge erhalten.

In Anbetracht der Untersuchungsweise von Helmholtz, bei welcher der Muskel senkrecht, mit einem Federhalter beschwert, aufgehängt wird, so dass er bei der Verkürzung neben seinem eigenen auch noch das angefügte Gewicht zu heben hat, konnte man zu dem Glauben kommen, dass das, was wir verlängerende Resultirende nannten, nichts anderes als die Schwere sei. Diese Annahme ist aber, wie Volkmann besonders hervorhebt, widerlegt durch die Thatsachen, dass auch ein horizontal gelegter Muskel sich nach gleichen Gesetzen verkürzt und verlängert; ferner, dass der ermüdete Muskel langsamer steigt und fällt, als der noch frische und endlich, dass die Zeit des Auf- und Absteigens viel zu gross ist, um einzig von der beschleunigenden Kraft der Schwere abhängig sein zu können.

5. Elastische Eigenschaft des zusammengezogenen Muskels. Eine breite Bahn in das bisher so dunkle Gebiet der elastischen Eigenschaften des zusammengezogenen Muskels hat Ed. Weber *) gebrochen. Die Entdeckungen, die ihm hier gelungen sind, machen auf den Weiterbau dieses Gebietes sehr begierig. Zuerst stellte er fest, dass der Elastizitätscoeffizient eines Muskels sich erniedrigt, wenn dieser aus dem ruhigen in den zusammengezogenen Zustand übergegangen ist; oder mit andern Worten, das-

*) Wagners Handwörterbuch III. 1. 110.

selbe Gewicht dehnt denselben Muskel im zusammengezogenen Zustand um einen grössern Bruchtheil seiner Länge aus, als im ruhigen Zustande. Aus diesem Satz fliesst die, schon durch eine frühere Untersuchung Schwann's festgestellte Folgerung, dass die gesammten bei der Formumwandlung des Muskels thätigen Kräfte kein innigeres Zusammenhaften der Muskelmolekeln bedingen.

Obwohl der gegebene Ausdruck des Weber'schen Gesetzes keiner Missdeutung fähig ist, so wollen wir doch noch zum vollkommenen Verständniss eine ihn erläuternde Beobachtung beifügen.

Die Länge eines von Weber gemessenen ruhenden Muskels betrug bei Anhängen eines Gewichtes von 5 Gr. = 41,9 m.m., als nun 30 Gr. an ihn gehängt wurden verlängerte er sich auf 45,9 m. m. — Die proportionale Verlängerung des ruhenden Muskels durch einen Gewichtszusatz von 25 Gr. erzielt, war also $\frac{45{,}9 - 41{,}9}{\frac{1}{2}(45{,}9 + 41{,}9)} = 0{,}091$. Unter den elektrischen Schlägen eines Rotationsapparates verkürzte sich derselbe Muskel während ein Gewicht von 5 Gr. an ihm hing, auf 16,75 m. m. und durch Vermehrung des Gewichtes auf 30 Gr. verlängerte er sich auf 27,2 m. m. Die proportionale Verlängerung für einen Gewichtszusatz von 25 Gr. betrug also hier $\frac{27{,}20 - 16{,}75}{\frac{1}{2}\ 16{,}75 + 27{,}20} = 0{,}47$.

Diese Thatsache ist, wie man leicht erkennt, nicht im Widerspruch mit den Schlüssen, welche aus der Untersuchung von Helmholtz gezogen sind, denn die Ergebnisse dieses letzteren Gelehrten waren nur verständlich unter der Voraussetzung, dass die Verkürzung einen Gleichgewichtszustand darstellte hervorgegangen aus der Gegenwirkung verkürzender und verlängernder Kräfte; sie sagten also aus, dass ein zu seinem Maximum verkürzter Muskel durch Anhängung eines auch noch so kleinen Gewichtes sogleich verlängert werden musste; über die Grösse der proportionalen Verlängerung durch Gewichte gaben sie jedoch keinen Aufschluss.

In scheinbaren Widerspruch tritt dagegen die Erniedrigung des Elastizitäts-Coeffizienten mit der Thatsache, dass der Muskel bei seiner Verkürzung sich verdichtet. Es löst sich derselbe aber sogleich, wenn man in Erwägung zieht, dass die Muskelsubstanz aus Stoffen von sehr verschiedenem physiologischem Werth besteht, indem nur der Inhalt der Muskelröhre Theilchen enthält, deren Anziehung primär geändert wird, während die Theilchen der primitiven und secundären Scheiden erst durch die Lagenveränderung des Inhalts gespannt, oder auch zusammengepresst werden. Man könnte sich versucht fühlen, irgend welche genauere Hypothese aus dieser Betrachtung abzuleiten, indem man noch weiter voraussetzte, dass die Spannung und Zusammenpressung dieser Scheiden diejenigen Kräfte darstellte, welche wir die verlängernden genannt haben, wenn Weber nicht die Thatsache gefunden hätte, dass ein sehr ermüdeter aber ruhiger Muskel durch ein angehängtes Gewicht in dem Moment, wo er durch die Induktionsschläge erregt wird, statt verkürzt zu werden sich verlängert. Da in diesen Fällen also die verlängernde Kraft nicht durch die aus einer Verkürzung des Muskels herrührende Spannung und Zusammenpressung der Scheiden erzeugt sein konnte, so müssen noch andere ganz unbekannte Umstände eintreten, die während die Muskelerregung das Zusammenhaften der Theilchen mindern.

Nächst der wichtigen Thatsache, dass der Elastizitätscoeffizient des Muskels sich bei der Zusammenziehung verkleinert, ermittelte Ed. Weber die nicht minder bedeutende, dass entsprechend der steigenden Ermüdung die Curve des Elastizitätscoeffizienten sich ändert;

mit andern Worten, die stufenweis aufeinander folgende proportionale Ausdehnung, welche durch dieselbe Reihenfolge angehängter Gewichte erzeugt werden, ändert sich an demselben Muskel mit der wachsenden Ermüdung. Den allgemeinen Gang dieser Veränderung geben die Curven 89, 90, 91. In ihnen bedeuten die Werthe L, $L' - L$, $L'' - L'$ u. s. w. die in Bruchtheilen der mittleren Muskellänge ausgedrückten Längenzuwächse, welche durch eine Steigerung der Gewichte von 5 Gr. auf 10 Gr., 15 Gr. u. s. w. erzielt wurden. Diese drei Curven sind ein und demselben Muskel angehörig; die zu je einer derselben gehörigen Werthe gelten für einen während der ganzen Beobachtung constant erhaltenen Ermüdungsgrad, und zwar ist Fig. 89 nach Beobachtungen bei der niedrigsten, Fig. 91 nach denen bei der höchsten Ermüdung entworfen.

Fig. 89.

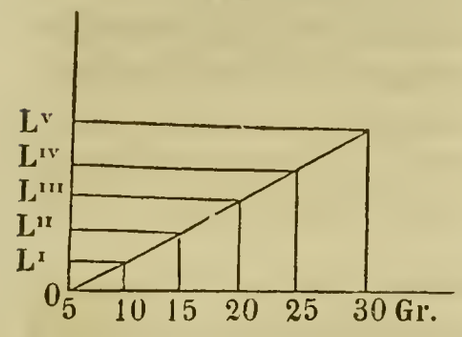


Fig. 90.

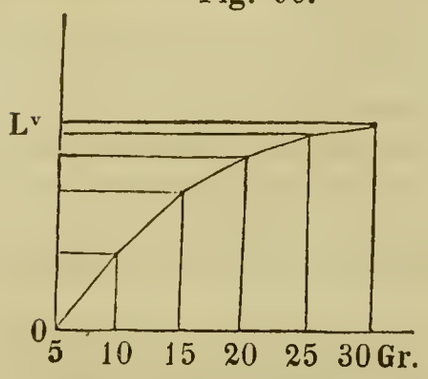
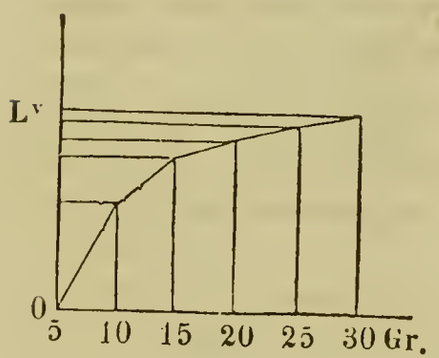


Fig. 91.



Hier ergibt sich nun, dass ein allmäliger Uebergang im Gesetz des Wechsels von dem niedrigsten zum höchsten Grad der Ermüdung stattfindet. Merkwürdiger Weise nähert sich bei höchster Leistungsfähigkeit die Curve der geraden Linie an, d. h. es verhält sich die Elastizität wie die eines getrockneten organischen Körpers, während die folgenden den stufenweisen Uebergang dieser in die Curve des unthätigen Muskels (S. 321) darstellen. Zugleich ergibt sich aber auch, dass der absolute Werth des Coeffizienten der Ausdehnbarkeit (der unmittelbar durch den Werth von L', $L'' - L'$ u. s. w. ausgedrückt ist) für niedere Gewichte bei grösseren Ermüdungen sehr viel beträchtlicher ist, als bei grösserer Leistungsfähigkeit.

Die Beobachtungen über die Elastizität des nicht ermüdeten Muskels bewegen sich leider in noch zu engen Grenzen; wahrscheinlich gehen die noch fehlenden Curvenstücke in einer andern Richtung als die anfänglichen.

Zur Ermittlung der vorgeführten Thatsachen hing Ed. Weber den m. hyoglossus des Frosches passend auf, beschwerte ihn mit einem Gewicht, mass dann auf sichere Weise seine Länge; darauf setzte er ihn den Schlägen des Induktionsapparates so lange aus, bis er das Maximum seiner Verkürzung erreicht hatte. Nachdem die Länge des Muskels abermals gemessen war, öffnete er den Induktionskreis und wiederholte den Versuch mit andern Gewichten und zwar in der Weise, dass er auf das zuerst angehängte Gewicht von 5 Gr. der Reihe nach aufsteigend die von 10 Gr., 15 Gr., 20 Gr., 25 Gr., 30 Gr., und dann der Reihe nach absteigend die von 25 Gr., 20 Gr., 15 Gr., 10 Gr., 5 Gr. folgen liess. Einer solchen auf- und absteigenden Beobachtungsreihe

wurde dann derselbe Muskel fünf bis sechsmal unterworfen. Diese sinnreiche Art zu beobachten war nach verschiedenen Richtungen hin vortheilhaft. Zunächst nämlich konnte der Muskel zahlreichere Thatsachen liefern, als wenn er ununterbrochen den erregenden Einflüssen ausgesetzt gewesen wäre, die ihm keine Zeit zur Erholung gegönnt hätten; dann aber ermöglichte das Anhängen der in regelmässiger Folge auf- und absteigenden Gewichte, die verschiedenen Beobachtungen mit einander vergleichbar zu machen, indem man unter der wahrscheinlichen Voraussetzung einer mit der Zeit und mit der Anstrengung geradezu wachsenden Ermüdung die zu einer Reihe gehörigen Beobachtungen auf denselben Ermüdungsgrad reduziren, d. h. den verlängernden Einfluss der Ermüdung eliminiren konnte. Denn in einer jeden Reihe besass man ja für die Gewichte von 5 bis 25 Gr. zwei Beobachtungen, welche jedesmal gleichweit abstanden von der nur einmal vorhandenen mit 30 Gr.; aus den Muskellängen je zweier zu einander gehöriger Zahlen brauchte man also nur das Mittel zu nehmen, um sie mit der nur ein Mal vorhandenen Beobachtung vergleichbar zu machen. In dieser Reihe ist die Länge des Muskels, welche er bei 5 Gr. Belastung annahm, als die normale, dem unbelasteten Zustand entsprechende angesehen worden; dieses musste geschehen, weil der Muskel an und für sich zu schlaff war, um eine sichere Messung seiner Länge zu erlauben.

6. Electrische Eigenschaften. Negative Stromesschwankung. Unter Anwendung besonderer Vorsichtsmassregeln ergibt sich nun, dass die am ruhigen Muskel zum Vorschein tretenden electrischen Gegensätze beim zusammengezogenen scheinbar sich mindern, indem nämlich je zwei abgeleitete Stellen eines zusammengezogenen Muskels eine viel geringere Nadelablenkung erzeugen als dieselben des ruhigen. Man gewinnt eine deutliche Vorstellung von dem Gesetz, nach welchem die Nadelablenkung wechselt für den Fall dass man mit gleichbleibendem Abstand der ableitenden Bäusche um den zusammengezogenen Muskel allmälig herumwandert, wenn man an der Fig. 81 dargestellten Curve die Ordinaten y, überall erniedrigt.

Zur Untersuchung der electrischen Eigenschaften des zusammengezogenen Muskels durch die Magnetnadel kann nur der tetanisch erregte benützt werden, weil die Wirkungen einer einzelnen Zuckung, gegen die Trägheit der Nadel gehalten, zu flüchtig sind, um von dieser vollkommen aufgefasst zu werden. — Damit man sicher sei, dass die Stellungsveränderungen der Nadel, welche beim Uebergang des ruhigen Muskels in den zusammengezogenen eintreten, nicht die Folge unwesentlicher Umstände sei, wie z. B. einer Veränderung des Leitungswiderstandes, erzielt durch die Formumwandlung des Muskels oder die Verkleinerung der Berührungsstellen mit den Bäuschen u. s. w. legt du Bois einen Muskel auf, der an beiden Enden so fest eingespannt ist, dass bei seinem Uebergang in den Tetanus auch nicht die geringste Formveränderung zum Vorschein kommt. — Um endlich die reinen Wirkungen des zusammengezogenen Muskels auf die Nadel zu erhalten, ist es nothwendig, den tetanisirten Muskel in den ganz gleichartigen Multiplikatorenkreis zu bringen; daraus folgt die Regel, dass man in den gleichartigen Multiplikatorenkreis nicht erst den ruhigen Muskel legen und diesen dann tetanisiren, sondern dass man den Kreis sogleich durch den tetanisirten Muskel schliessen soll; denn offenbar würde sonst durch den Strom des ruhenden Muskels eine Polarisation der Platinplatten hervorgebracht, welche das klare Erscheinen einer folgenden Stromveränderung wesentlich beeinträchtigen könnte.

Dieser Verminderung in der Ablenkung, welche die Nadel erleidet, können zweierlei Arten von Verhalten des Muskelstromes zu Grunde liegen; entweder es tritt in der That eine constante Erniedrigung der Strömung ein, oder es wechseln während der Zusammenziehung zwei im entgegengesetzten Sinne gerichtete Ströme so rasch miteinander ab, dass die träge Nadel nicht die Veränderung jedes einzelnen, sondern nur der Resultirenden aus beiden Strömen anzeigte. — Auf die Zustände des Muskels bezogen würde diese Alternative die Bedeutung haben: entweder es nehmen die Gegensätze zwischen Querschnitt und Oberfläche in der Zusammenziehung constant ab, oder es tritt eine solche Schwankung ein, dass der Längenschnitt bald + und bald — und diesen entsprechend der Querschnitt bald — und bald + würde.

Zur Entscheidung zwischen diesen beiden Möglichkeiten verhelfen die Eigenthümlichkeiten des stromprüfenden Froschschenkels, und zwar sowohl seine verschwindende Trägheit, so dass er durch einen auch nur momentan dauernden Strom erregt wird, als auch die andere nicht minder wichtige Eigenschaft, nur durch electrische Ströme von veränderlicher Dichtigkeit und Stärke zur Zuckung veranlasst zu werden.

In der That entscheidet der stromprüfende Froschschenkel zu Gunsten der Vorstellung, dass während der tetanischen Zusammenziehung die electrischen Muskelmolekeln in stetigen Bewegungen begriffen sind, denen zufolge die den Muskel umkreisenden electrischen Ströme sowohl ihrer Richtung als auch ihrer Intensität nach in stetige Schwankungen gerathen.

Denn überbrückt man gleichzeitig Quer- und Längenschnitt eines Muskels mit dem Nerven des stromprüfenden Schenkels, so geräth dieser letztere augenblicklich in Zuckung, sowie man den ersteren durch Erregung seines Nerven zur Zusammenziehung bringt. Sekundäre Zuckung von Matteucci. Diese einmalige Zuckung des stromprüfenden Schenkels verwandelt sich aber selbst in eine anhaltende, eine tetanische, sowie man den primär sich zusammenziehenden Muskel tetanisirt, du Bois; dieses würde aber nicht möglich sein, wenn der primär tetanisirte Schenkel von einem Strom constanter Stärke umkreisst würde.

Wir haben bisher den Muskel betrachtet, welcher seiner parelectronomischen Schicht (s. p. 319) beraubt war; es gewährt nun mit Rücksicht auf die Richtung der Bewegung, welche die Molekeln ausführen, ein besonderes Interesse, sie auch an solchen Muskeln zu untersuchen, welche mit dieser Schicht versehen sind. War dieselbe in vollkommener Ausbildung vorhanden, so wurde dadurch, wie wir uns erinnern, der natürliche Querschnitt entweder indifferent oder sogar positiv gegen den Längenschnitt, so dass durch einen solchen Muskel im ruhenden Zustand die Nadel entweder gar nicht oder umgekehrt wie gewöhnlich abgelenkt wurde. Tetanisirt man nun einen solchen

Muskel, so erscheint auch hier die Schwankung der Magnetnadel, in der Art jedoch, dass ihre Bewegung jedesmal auf einen eintretenden oder noch verstärkten Strom von dem Querschnitt zur Oberfläche deutet. Hieraus darf der wichtige Schluss gezogen werden, dass der die Zusammenziehung des Muskels begleitende electrische Hergang nicht in einer solchen Umstellung der Gegensätze bestehe, dass dahin, wo im ruhenden Zustand das Positive gewesen war, jedesmal das Negative hinkomme, sondern dass eine absolut negative Schwankung der Molekeln eintrete, d. h. dass der Querschnitt immer positiver und der Längenschnitt immer negativer werde. Du Bois nennt darum den electrischen Vorgang des Muskels bei seiner Zusammenziehung die negative Stromesschwankung.

Als sich von selbst verstehend ist die Bemerkung anzusehen, dass man den zusammengezogenen Muskel, welchen man auf den Bäuschen liegend untersucht, entweder durch andere als elektrische Mittel vom Nerven aus tetanisiren muss, oder wenn man sich des Induktionsapparates bedient, Vorrichtungen zu treffen hat, die den Eintritt der erregenden Ströme in den Multiplikatorenkreis hindern. — Der Entdecker der secundären Zuckung bemühte sich zu beweisen, dass dieselbe durch keine Veränderung des den ruhenden Muskel umkreisenden Stromes erzeugt werde. Es treten aber, wie bei du Bois*) des Ausführlicheren nachzusehen, die vorgebrachten Beweise gerade für das Gegentheil der Matteucci'schen Behauptung in die Schranken.

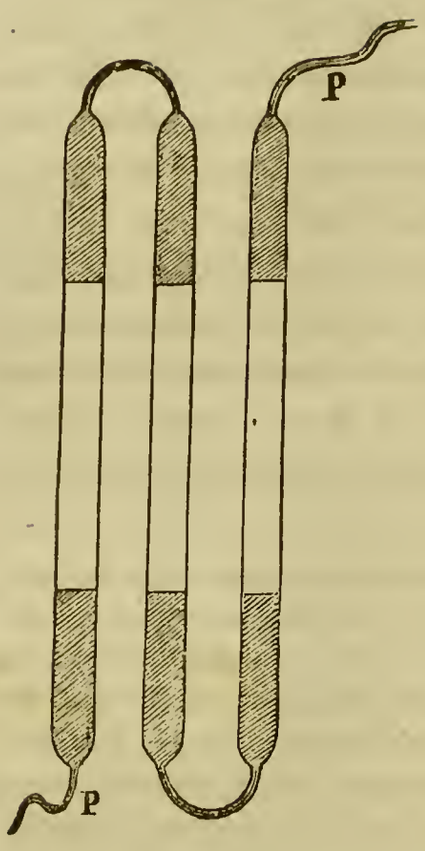
Die negative Schwankung vollendet die Analogie, welche die electrischen Einrichtungen der Nerven und Muskeln bieten; es wird darum alles das, was über die Zusammensetzung des Nerven aus electrischen Molekeln gesagt wurde, hierher zu übertragen sein. Der einzige bemerkenswerthe Unterschied zwischen dem electrischen Verhalten der Nerven und Muskeln, soweit es uns bekannt ist, beruht darauf dass die Muskeln nicht in den electrotonischen Zustand gerathen.

7. Wärmeeigenschaften. Während seiner Zusammenziehung entwickelt der Muskel eine gewisse Menge von Wärme, die jedoch zu gering ist als dass sich überhaupt ermitteln liesse, in welchem Verhältniss sie zur Masse und dem Verkürzungsgrad des Muskels steht.

Die Messung der im Muskel entwickelten Wärme geschieht durch die Thermokette; M. Becquerel hat sie zuerst hiezu in Anwendung gebracht; seine Untersuchungsmethode ist jedoch mit zu vielen Fehlern behaftet, als dass die durch sie gewonnenen Resultate werthvoll wären. Helmholtz**), der so ausserordentliche Verdienste um die Lösung der schwierigsten Aufgaben der Muskel- und Nervenphysiologie besitzt, hat auch hier zuerst fehlerfreie Versuche angestellt. Sein Verfahren bedient sich der folgenden Mittel: a) Seine Thermokette besteht aus einem sehr dünnen und schmalen Eisenblech, an dessen beiden Enden entsprechende, je halb so

*) II. Bd. 1. Abthl. p. 93 u. f.
**) Ueber die bei der Muskelaction entwickelte Wärmemenge. Müllers Archiv 1848.

Fig. 92.



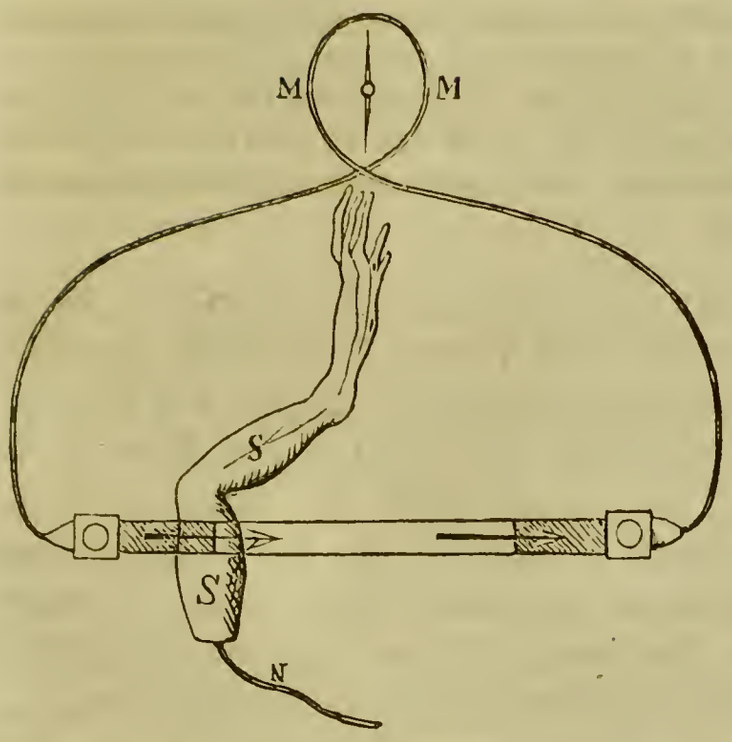
lange Neusilberbleche angelöthet sind. Die Eisen-Neusilberkette ist mit Ausnahme ihrer äussersten Enden mit Firniss überzogen; diese Enden selbst laufen spitz aus, damit man sie durch den Muskel bohren könne. Solcher Bleche werden von Helmholtz mehrere, gewöhnlich drei in den Muskel gestossen, welche nach ihrer Einführung in denselben zu einer Kette nach dem in Fig. 92 dargestellten Schema vereinigt werden. In der Zeichnung sind die Neusilberstücke schraffirt; die Kettenenden sind *P P*. — b) Thermomultiplikator; an die Kettenenden *P P* fügt man einen Multiplikator, dessen sehr gut astatische Nadeln hier von einem dicken Draht von nur 50 bis höchstens 100 Windungen umgeben sein dürfen, und dies zwar darum, weil die thermoelektrischen Ströme an und für sich sehr schwach sind und sie an ihrem Entstehungsort in der metallischen Kette keinen nennenswerthen Widerstand zu überwinden haben. Sie würden demnach durch den Leitungswiderstand einer grösseren Zahl von Drahtwindungen bald so weit geschwächt werden, dass der Verlust, der aus der Schwächung der Stromintensität entstehen würde, nicht zu ersetzen wäre durch die Multiplikation, die aus den Drahtwindungen hervorgeht.

Erwärmt man die eine Reihe von Löthstellen unserer Kette, während man die andere Reihe auf ihrer frühern niedrigern Temperatur erhält, so entsteht ein Strom in der erwärmten Löthstelle in der Richtung vom Neusilber zum Eisen, dessen Intensität proportional der Temperaturdifferenz der beiden Reihen von Löthstellen steigt. Desshalb gelingt es nun, da die Abhängigkeit der Winkelablenkung der Magnetnadel von der Stromintensität bekannt ist, durch die Nadelablenkung den Grad der Wärme zu bestimmen, welchen die zweite Löthstelle angenommen, wenn die Temperatur der ersten bekannt ist. Bei Anwendung so feiner Apparate ist es aber gerathener, ja nothwendig, geradezu das Verfahren der empirischen Graduirung des Multiplikators zu benutzen, wenn man aus der Nadelablenkung auf die Temperatur schliessen will. Helmholtz's Apparat war so genau, dass mit Sicherheit noch Temperaturdifferenzen beider Löthstellen von 0,0007° C ermittelt werden konnten.

c) Der Muskel, welchen man der Untersuchung unterwirft, darf nicht mehr vom Blut durchströmt sein, weil das venöse und arterielle Blut mit wesentlichen Temperaturdifferenzen begabt sind, so dass je nach dem Uebergewicht der einen oder andern Blutart sehr beträchtliche Fehler entstehen könnten; man wählt also am besten einen ausgeschnittenen Froschschenkel, durchstösst diesen mit den Kettengliedern, verbindet diese zur Säule und die Enden derselben mit dem Multiplikator, wartet dann so lange, bis die Nadel des Multiplikators auf den Nullpunkt gegangen, und versetzt endlich den Muskel in Zusammenziehung durch schwache electrische Schläge, die man durch den Nerven des Muskels oder auch durch diesen selbst ohne Schaden leiten kann, weil die Kette durch den Firnissüberzug innerhalb des Muskels isolirt ist. Diese sehr feinen Versuche machen auch noch mannigfache Vorsichtsmassregeln nothwendig zur Erhaltung einer gleichmässigen Temperatur der nicht im

*) Annales de chim. et physiq. 2° ser. 39. Bd. 132.

Fig. 93



Muskel befindlichen Löthstellen, worüber das Genauere bei Helmholtz. — Das Schema des ganzen Versuchs gibt die Fig. 93. *N S* bedeutet Nerv mit den zugehörigen Muskeln; durch den Oberschenkel des Froschbeins ist die hier nur eingliedrig gezeichnete Kette eingeschoben; die im Fleisch verborgene Lothstelle scheint in der Zeichnung durch, die andere Lothstelle ist frei; der Strom würde bei Erwärmung des Muskels in der Richtung der Pfeile zum Multiplikator *M* gehen.— Die Temperaturerhöhung, welche Helmholtz bei der Zusammenziehung an den Froschmuskeln beobachtete, betrug im Mittel 0,16° C.

8. Chemische Eigenschaften. Während seiner Zusammenziehung ändert der Muskel nachweisslich seine chemischen Eigenschaften; worin aber diese Veränderung bestehe, lässt sich bis jetzt nicht auf eine, dem gegenwärtigen Standpunkt der Chemie entsprechende Weise ausdrücken. — Den ersten Nachweiss dass eine Veränderung vor sich gehe hat Helmholtz*) geliefert, indem er zeigte, dass die festen in der Fleischflüssigkeit gelösten Substanzen, welche aus dem bis zur Erschöpfung tetanisirten Muskel gezogen wurden, verschieden von denjenigen seien, welche aus dem gleichnamigen Muskel desselben Thieres, der sich in Ruhe befunden hatte gewonnen werden konnten; namentlich hatte sich im zusammengezogenen Muskel der in Weingeist lösliche Theil des Rückstandes der Fleischbrühe gemehrt und der nur in Wasser lösliche gemindert. Aus den Untersuchungen von Liebig**) und Scherer***) scheint weiter der Schluss gezogen werden zu können, dass sich in den zusammengezogenen Muskeln die Menge des Kreatins (und Hypoxanthins?) mehre. Denn sie fanden in den Muskeln lebhaft sich bewegender und im Herzmuskel aller Thiere diesen Stoff in beträchtlichster Menge. — Endlich hat du Bois noch entdeckt dass ein frischer Muskel eines Thieres, das sich lange in Ruhe befunden, neutral reagire, dass dagegen dieser Muskel sogleich eine saure Reaktion annehme, sowie er einige Zeit hindurch in den Zustand der Verkürzung gebracht worden war.

Ausser diesen unzweideutigen Thatsachen weisen aber noch andere, vieldeutigere Erfahrungen darauf hin, dass eine Umsetzung der Muskelsubstanz bei ihrer

*) Müllers Archiv 1845. Ueber den Stoffverbrauch bei der Muskelaktion.
**) Annal. d. Chem. v. Liebig u. Wöhler. Bd. 62.
***) Annal. d. Chem. v. Liebig u. Wöhler 73. Bd.

Zusammenziehung vor sich gehe. Dahin zählt, dass die Sauerstoffmenge, welche ein Mensch durch die Lunge aufnimmt, sich mehrt während der Muskelanstrengung (Seguin) und dass sich während (Scharling*) und nach (Vierordt**) der Muskelanstrengung die Menge der von der Lunge ausgehauchten CO_2 sich beträchtlich steigere. — Nicht minder bemerkenswerth ist die von Lehmann***) beobachtete Thatsache, dass bei gleichbleibender Kost nach starken Anstrengungen der Harnstoffgehalt des Urins sich mehrt.

9. Arbeitsleistung; Nutzwerth des Muskels†). Bevor wir nun zu einer Betrachtung der noch übrigen besonderen Zustände der quergestreiften Muskelsubstanz vorschreiten, wollen wir die Prinzipien erörtern, nach denen die sog. Arbeitskräfte des Muskels zu beurtheilen sind. Der Muskel kann begreiflich und bekanntlich die Bewegung, welche seine eignen Theile bei der Formveränderung erleiden, andern Körpern mittheilen, und damit im Sinne der Mechanik Arbeit verrichten. In dieser Beziehung fällt die Betrachtung unseres Apparates mit derjenigen aller arbeitenden Maschinen zusammen.

Das Maass der lebendigen Kräfte, welches für die Leistungen solcher Maschinen in Anwendung gebracht wird, ist wie allbekannt ein Produkt aus den Faktoren der Zeit (f), der Gewichte (g) und der Hubhöhe (h) also $= gfh$. Mit andern Worten dem Techniker ist es wichtig zu wissen, welche Zeit hindurch oder wie oft in gegebener Zeit und wie hoch ein gewisses Gewicht durch eine Maschine gehoben werden kann, weil nach diesen Angaben die Werthung der von einer Maschine gelieferten auf andere Massen übertragbaren Kräfte geschehen kann. Wir legen, indem wir dieses Maass auf die Muskelkräfte anwenden, zunächst ein und denselben Muskeln von einer beliebigen Einheit des Querschnittes und der Länge zu Grunde.

In Bezug auf den Faktor der Zeit gilt zuerst der Satz, dass die Leistungsfähigkeit des Muskels mit der Dauer seiner Wirkung abnimmt, mit andern Worten der Muskel entwickelt, wie in der Lehre von der Ermüdung dargethan, den grössten Werth seiner Kräfte im Beginn seiner Leistung, während nach einer gewissen geringeren oder grösseren Andauer der Kraftentwicklung die Leistungsfähigkeit Null wird; — diese dem Nutzeffekt des Muskels schädliche Wirkung der dauernden Leistung ist jedoch nicht für alle Werthe von hg, d. h. für jede Verkürzung und jedes Gewicht gleich; sie wächst mit dem Werthe von hg und zwar wie es scheint viel rascherer als diese selbst; aber auch für den niedrigsten Werth von hg, wenn z. B. das zu hebende Gewicht in nichts anderm besteht, als in der eigenen Masse des Muskels macht sie sich rasch geltend, wie jedermann aus

*) Journal für prakt. Chemie Bd. 48. p. 435.
**) Wagners Handwörterbuch II. Bd. p. 886.
***) Physiolog. Chemie 1. Bd. 2. Aufl. p. 169.
†) Ed. Weber. Wagners Handwörterbuch III. 2. Abth. p. 91.

Erfahrung weiss. Aus diesem Grunde ist der Muskel nicht dazu geeignet einen Körper auf den ein stetig sich wiederholender Antrieb wirkt in seiner Bewegung derartig zu hemmen, dass er constant dieselbe Ortlage behauptet. Der schädliche Einfluss den die Dauer der Verkürzung mit sich führt wird dagegen sehr gemindert wenn der verlängerte und der verkürzte Zustand im Wechsel begriffen sind, wenn, wie man sich ausdrückt, der Muskel in einer zwischen gelegten Ruhezeit von der Anstrengung sich zu erholen im Stande ist. — Da sich aber rücksichtlich dieser Umstände nichts befriedigendes sagen lässt, so werden wir im Folgenden die Zeit in welcher der Muskel seine Leistung vollführt als so klein setzen, dass wir die Ermüdung während derselben vernachlässigen können und darum als Maass des Nutzeffektes nur gh ansehen, d. h. das Produkt aus dem Gewicht in diejenige Höhe, auf welche es der Muskel zu heben vermag. Zur Beurtheilung des Nutzeffektes in diesem Sinne dienen uns die von Ed. Weber gelieferten Thatsachen über die elastischen Kräfte des zusammengezogenen Muskels. Wir haben dort erfahren, dass ein Muskel im Maximum seiner Zusammenziehung kein auch noch so kleines Gewicht tragen kann ohne in seiner Form verändert beziehungsweise verlängert zu werden, mit andern Worten er kann Null Gewicht auf das Maximum der Hubhöhe bringen. Setzen wir diesen Werth in den Ausdruck gh, wobei h eine bekannte in Millimeter oder Zollen ausgedrückte Zahl, g aber Null bedeutet, so sehen wir sogleich, dass in diesem Fall der Nutzeffekt selbst Null wird. Anderseits lernten wir aber auch aus den Weber'schen Beobachtungen, dass derselbe Zuwachs an Gewichten den Muskel um einen um so geringeren Bruchtheil seiner Länge ausdehnt, je mehr er sich schon der Form genähert hat, welche er besass bevor er durch die Zusammenziehung dieselbe änderte, oder umgekehrt ausgedrückt, dass der Muskel um so beträchtlichere Gewichte zu heben vermag, je weniger er hierbei sich verkürzt. Daraus folgt unmittelbar dass das Maximum des Gewichtes, welches er überhaupt heben kann, gerade an dem Punkt liegt, wo er im Begriff ist seine Verkürzung zu beginnen. Uebersetzen wir diesen Fall wiederum in den Ausdruck gh, so wird nun h = Null, während g ein in Grammen oder Pfunden ausdrückbares Gewicht darstellt; also auch hier ist das Produkt, der Nutzeffekt = Null. Aus der Darstellung dieser beiden Grenzfälle können wir schliessen, dass das Maximum des Nutzeffektes zwischen beiden liege in der Art, dass mit abnehmender Hubhöhe, wegen möglicher Steigerung des Gewichts, der Nutzeffekt wächst bis zu dem Punkt, wo die Abnahme der Hubhöhe zu gross geworden, um das Steigen des Faktors der Gewichte zu kompensiren. — Es ist dieses der einzige allgemeine Ausdruck, den wir für den Nutzeffekt des Muskels zu finden im Stande sind, weil wir das Gesetz der wechselnden Ausdehnungscoeffizienten mit der

Zusammenziehung des Muskels noch nicht kennen, welches wie wir erfuhren mit dem sog. Müdigkeitsgrade ein sehr veränderliches ist.

Gestaltete sich die Beziehung zwischen der Ausdehnbarkeit des Muskels und dem angehängten Gewichte wie in der Curve 89, d. h. wäre die Ausdehnung immer direkt proportional dem Gewichtszuwachs, so würde die für jeden Werth der Zusammenziehung erzielbare Leistung leicht abzuleiten sein; denn setzen wir voraus, es betrage die Verkürzung des Muskels ohne Gewichte 4 M. M., die Last aber, welche der Muskel ohne sich zu verkürzen tragen könnte 4 Gr., so würde er bei 3 M. M. Verkürzung 1 Gr., bei 2 M. M. Verkürzung 2 Gr., bei 1 M. M. Verkürzung 3 Gr. heben; der Nutzeffekt war also nacheinander 0, 3, 4, 3, 0 Millimetergramme.

Weil nun das Gesetz der mit der Verkürzung wechselnden Nutzeffekte unbekannt ist, so hat man sich damit behelfen müssen, als vergleichbaren Werth einen Ausdruck zu wählen, der von der Hubhöhe unabhängig ist, d. h. das Gewicht, welches gerade gross genug ist, um zu verhindern, dass der Muskel, wenn er aus der Ruhe in den Zustand der Erregung tritt, seine Form ändert. — Siehe die hierzu angewendete Verfahrungsarten bei Ed. Weber*). — Wenn man diesem Ausdruck gemäss die Kraft verschiedener Muskeln untereinander vergleichen will, so muss man die von einem Querschnitt bekannter, aber beliebiger Grösse ausgeführten Leistungen auf die einer Querschnittseinheit zurückführen, was einfach geschehen kann, da offenbar der Nutzeffekt in obengenommenem Sinne geradezu mit dem Querschnitt wächst. — Nach solchen Bestimmungen war das Kraftmaass für den Quadrat-Centimeter der Menschenmuskeln 1,087 Kilogr. und für den der Froschmuskeln 0,692 Kilogr. Ed. Weber.

Eine kurze Ueberlegung zeigt uns nun, wie im Allgemeinen der Nutzwerth der Muskeln von ihrer Länge und ihrem Querschnitt abhängig sei. Denn offenbar wird das Muskelrohr von gleichem Querschnitt aber von grösserer Länge dasselbe Gewicht absolut höher heben können als das von geringerer Länge, während ein Muskelrohr von grösserem Querschnitt ein beträchtlicheres Gewicht auf gleiche Höhe hebt als ein gleichlanger Muskel von geringerem Querschnitt.

10. Physikalisches Maass der Muskelkraft. Die jenseits der Grenze eines Muskelrohrs oder eines Gesammtmuskels mittheilbaren Kräfte geben nun noch keineswegs eine Vorstellung von der Grösse der Anziehungen, welche zwischen den wirksamen Theilen innerhalb des Muskels bei der Zusammenziehung frei werden. Dass dieses nicht geschehe, erhellt schon aus den Betrachtungen und Thatsachen die mitgetheilt wurden, als von dem zeitlichen Verlauf der Zuckung und den elastischen Eigenschaften der Muskeln die Rede war. Denn dort erwiess es sich dass der verkürzte Zustand des Muskels Folge war von zwei nach entgegengesetzten Richtungen wirksamen Anziehungen, wodurch also offenbar wieder freie Kräfte in gespannte umgesetzt wurden. Dazu ist es noch fraglich, ob die Anziehungen, welche zwischen den Molekeln wirksam sind in der Richtung der Längenachse des Muskelrohrs geschehen, d. h. in derjenigen, in welcher der Nutzeffekt wirkt. Wäre das nicht der Fall, so würde dieser letztere selbst erst wieder eine Resultirende unbekannter Einzel-

*) l. c. p. 86 u. f.

kräfte sein. — Dieses mag genügen um auf die Aufgabe der eigentlich wissenschaftlichen Maassbestimmung hinzudeuten; ihre Lösung ist noch niemals auch nur andeutungsweise versucht worden.

C. Muskelstarren.

Zwei eigenthümliche Erscheinungsformen des Muskels die Wärme- und die Todtenstarre, in welchen derselbe in eine andauernde Steifheit geräth sind endlich noch zu betrachten. Obwohl der lebende Körper selten oder niemals die Bedingungen einschliesst, unter denen jene Zustände sich erzeugen, so sind sie doch für uns von Wichtigkeit weil sie überhaupt über das Wesen des Muskels Aufschluss versprechen.

1. Wärmestarre*). Verweilt ein Froschmuskel in Wasser von 65° R. 25 Sekunden, (Pickford,) oder mehrere Minuten in Wasser von 30° R., so wird derselbe, indem er sich verkürzt, steif und kann durch die gewöhnlichen Muskelerreger nicht mehr in Zuckungen versetzt werden. In diesem Zustande lenkt er die Magnetnadel nach einer Richtung ab, welche darauf hinweisst, dass der Querschnitt positiv und der Längenschnitt negativ sei; du Bois. Dieses Zusammentreffen der Verkürzung mit einer constanten Umdrehung der elektrischen Molekeln ist bedeutsam genug. — Diese Starre löst sich jedesmal nach einigen Minuten, vorausgesetzt dass die sie erzeugende Temperatureinwirkung auf die oben bezeichneten Grade und Zeiten sich beschränkte. Pickford.

Einen ganz analogen Zustand hat du Bois an den Nerven entdeckt und weiter verfolgt; setzte er einen Nerven den Strahlen eines stark glühenden Körpers aus so kehrte sich der Strom des Nerven um, und versetzte er in diesem Zustand den Nerven in Erregung, so verstärkte sich dieser verkehrt gerichtete Strom noch. Wurde der Nerv in Muskelfleisch eingebettet der Ruhe überlassen, so kehrte nach einiger Zeit die normale Strömungsrichtung wieder.

2. Todtenstarre**). Der Muskel geht unter Bedingungen die im todten Thiere gewöhnlich, im lebenden nur selten eintreten, eine eigenthümliche Veränderung ein, bei der er seine Leistungsfähigkeit einbüsst. Von den Eigenschaften die der todtenstarre Muskel bietet sind folgende aufgedeckt worden:

a. Die optischen Erscheinungen der Muskelröhren sind nicht wesentlich geändert; er erscheint etwas undurchsichtiger als während des Lebens und die Querstreifen sind deutlicher hervorgehoben. Ausserdem sollen sich auch die Röhren wie bei der Zusammenziehung

*) du Bois II. Bd. 1. Abth. p. 178 u. 550. — Pickford, Zeitschrift für rat. Medizin. Neue Folge. I. 110.

**) Valentin, Lehrbuch der Physiologie II. a. 113. — Stannius, Untersuchungen über Leistungsfähigkeit d. Muskeln u. Todtenstarre. Archiv f. phys. Heilkunde XI. — Brown-Sequard, Compt. rend. Juni u. August 1851. — du Bois, Thier. Electr. II. Bd. 1. Abth. 156.

während des Lebens um etwas verkürzen und verbreitern, was man aus Stellungsveränderungen der Glieder, (wie z. B. dem Anziehen des vorher geöffneten Kiefers u. s. w.) folgert, welche mit dem Beginne der Todtenstarre sich einfinden. Hierüber fehlen aber noch genauere Messungen.

b. Die Ausdehnbarkeit des Muskels ist vermindert; Ed. Weber. Seine Cohäsion soll nach einigen Angaben vermehrt, (Busch) nach andern vermindert sein; Valentin, Wertheim. Diese Widersprüche werden darin ihre Erledigung finden, dass man bald zu Anfang und bald zu Ende (bei schon beginnender Fäulniss) der Todtenstarre die Muskeln den sie zerreissenden Gewichten aussetzte.

c. Die elektrischen Gegensätze zwischen Oberfläche und Querschnitt des Muskels sind im Beginn der Todtenstarre entweder noch in gewöhnlicher oder aber in umgekehrter Ordnung vorhanden, so dass nun der Querschnitt positiv und der Längsschnitt negativ geworden ist; so oft sie aber vorhanden sind ist ihr Auftreten nur ein spurweises gegen dasjenige im leistungsfähigen Muskel: hat die Todtenstarre aber nur kurze Zeit hindurch bestanden, so verschwinden sie vollständig; du Bois.

d. Eine chemische Charakteristik der Todtenstarre ist noch nicht geliefert worden, indem bisher nur Muskeln untersucht werden konnten, welche entweder schon in die Todtenstarre eingetreten waren oder diese gar schon überstanden hatten. Man darf aus den von G. Liebig beobachteten Thatsachen dagegen mit einiger Sicherheit schliessen, dass in der Flüssigkeit der todtenstarren Muskeln kein freies Sauerstoffgas mehr aufgelöst sei. Er fand, wie oben angegeben, dass der Verlust der Leistungsfähigkeit der Muskeln, resp. der Eintritt der Todtenstarre, durch den Aufenthalt in sauerstofffreien Gasarten beschleunigt wurde; hiermit in Uebereinstimmung befindet sich die Angabe von Stannius dass am lebenden Thiere diejenigen Muskeln in Todtenstarre versetzt werden können, zu welchen der Zutritt des Blutes und damit der des Sauerstoffs abgehalten wurde. — Weiterhin vermuthet Brücke, dass im todtenstarren Muskel der Faserstoff oder eine ihm ähnliche gerinnbare Substanz fest geworden, welche im leistungsfähigen Muskel flüssig zwischen den Bestandtheilen des festen Inhaltes der Muskelröhren eingelagert sei; die Gründe für diese Vermuthung findet er: in der offenbaren Analogie die die Erscheinungen des Eintritts der Todtenstarre mit einer Gerinnung zeigt, und in der That bieten beide Vorgänge eine überraschende Aehnlichkeit, wenn man die allmälige steigende Trübung und Steifung der Muskeln ins Auge fasst; in der Uebereinstimmung, welche die Todtenstarre rücksichtlich der Zeiten ihres Eintritts und ihrer Lösung (durch Fäulniss) mit den in dem Blute eintretenden Gerinnungserscheinungen bietet. — Diese Gründe sind scheinbar sehr erschüttert worden durch

die Untersuchungen von Stannius, welcher nachwiess, dass das in den Muskelgefässen enthaltene Blut noch flüssig ist, wenn schon die Todtenstarre eingetreten war und noch mehr dass die schon hereingebrochene Todtenstarre wieder gelöst, mit andern Worten der Muskel in seinen leistungsfähigen Zustand zurückgeführt werden konnte, wenn man den Blutstrom, durch dessen Unterbrechung der Muskel todtenstarr geworden war, wieder durch die Muskelgefässe gehen liess. Diese Thatsachen beweissen allerdings, dass wenn die Todtenstarre von einer Gerinnung einer im Muskelrohr enthaltenen Flüssigkeit begleitet ist, diese Flüssigkeit unter andern Bedingungen gerinnen muss als der Blutfaserstoff. Aber indem man dieses zugibt, verneint man noch nicht die Gegenwart des flüssigen Faserstoffs in den Muskeln, da bekanntlich auch die Zeit der im Blut erscheinenden Gerinnung durch Zusatz von Salzen, das Abhalten der Luft u. s. w. mannigfach modifizirt werden kann. Ebensowenig scheint die Brückesche Anschauung durch die Thatsache widerlegt werden zu können, dass es nicht gelingt flüssigen Faserstoff durch Auspressen der frischen Muskeln zu erhalten, da nach Brücke während des Auspressens die Muskeln todtenstarr werden. — Wenn nun die Gegenwart des geronnenen Faserstoffs in todtenstarren Muskeln nicht widerlegt ist, so ist sie aber auch mindestens nicht erwiesen; begreiflich kann auch auf anderm Wege als durch die Gerinnung einer faserstoffähnlichen Flüssigkeit die Steifigkeit und Trübung des todtenstarren Muskels erläutert werden und in der That scheint das Verschwinden der electrischen Gegensätze, eine Thatsache die zur Zeit der Entstehung jener Vorstellung noch nicht bekannt war, auf eine tiefgreifende chemische Revolution innerhalb des Muskels hinzuweisen.

Die Zeit des Eintretens der Todtenstarre im verstorbenen Thier ist eine sehr verschiedene; der Zeitraum, welcher im Menschen und im Säugethier nach Nysten und Sommer, zwischen dem letzten Athemzug und der beginnenden Todtenstarre verfliesst, wechselt zwischen zehn Minuten bis achtzehn Stunden. Die auf diesen Punkt bezüglichen Angaben, haben für den Gerichtsarzt vorerst noch mehr Interesse als für den Physiologen. Hier sei nur folgendes angemerkt. Je leistungsfähiger ein Muskel während des Lebens war, um so rascher fällt er der Todtenstarre anheim; heftige Anstrengung der Muskeln vor dem Tode beschleunigen den Eintritt derselben; die Muskeln des Hauptes und Halses werden früher todtenstarr als die der oberen Extremitäten und diese früher als die der unteren Gliedmassen; Sommer. —

Die Todtenstarre stellt nun keinen bleibenden, sondern einen vorübergehenden Zustand des Muskels dar; sie verliert sich allmälig und zwar nicht allein wie man bisher glaubte, durch die beginnende Fäulniss, sondern auch durch den Hinzutritt von arteriellem Blut; Brown-

Sequard, Stannius — Unterbindet man an einem lebenden Kaninchen nach Stannius die aorta abdominalis und gleichzeitig die art. cruralis, so beginnt die Todtenstarre in der hinteren Extremität [und zwar entgegen dem Sommerschen Gesetz in den Unterschenkeln zuerst] 1½ bis 3 Stunden nach vollendeter Operation einzutreten. Löst man nach vollkommen ausgeprägter Starre (bis auf 5 Stunden nach Anlegung der Ligatur) die Unterbindung und stellt dadurch den Blutkreislauf in der hintern Extremität wieder her, so verschwindet die Starre mehr oder weniger vollkommen; die Zeit, welche der wiederhergestellte Blutkreislauf zur Erzielung dieses Erfolges bedurfte, betrug in verschiedenen Fällen von 20 Minuten bis zu 2 Stunden. — Die Zeit in welcher der Fäulnissprozess die Lösung der Todtenstarre vollbringt, ist eine viel beträchtlichere; wechselnd beträgt sie nach Erfahrungen von Nysten 48 bis 150 Stunden seit dem Eintritt derselben. — Die einzigen allgemeinen Regeln, welche zahlreiche Erfahrungen rücksichtlich der Andauer der Todtenstarre geliefert haben sind die, dass sie um so länger anhält, je später nach dem Tode sie auftrat. Eine Ausnahme von dieser für alle Thierklassen giltigen Regel machen nur die Muskeln der Frösche, welche an Strychninvergiftung starben, indem hier die Starre kurz nach dem Tode eintritt und sich erst sehr spät löst.

Die Stärke der Todtenstarre beurtheilt man nach dem Werth ihres Elastizitätscoeffizienten, d. h. nach dem Widerstand den die todtenstarren Muskeln der Ausdehnung entgegensetzen; zum Messen der Nachgiebigkeit hat man aber nur sehr selten genaue Versuche angestellt, sondern nur ungefähr den Widerstand geschätzt, welchen die todtenstarren Muskeln den zerrenden oder drückenden Bewegungen des Beobachters entgegensetzten. Aus diesen ganz unvollkommenen Versuchen glaubt man sich berechtigt zu den Angaben, dass die leistungsfähigsten Muskeln in die intensivste Starre gerathen, dass nach dem Tod durch Verblutung beim Menschen die Todtenstarre schwächer, bei Säugethieren aber stärker war u. s. w.

So unvollkommen die Angaben über die Todtenstarre auch noch sind, so genügen sie doch weitaus um den eingewurzelten Irrthum zu beseitigen, dass die Starre einen der Muskelzusammenziehung verwandter Zustand darstelle. Denn es ergibt sich bei einer Vergleichung der Eigenschaften beider Zustände, die durchgreifendste Verschiedenheit; in der Zusammenziehung wird der Muskel weicher, in der Todtenstarre härter; in der Zusammenziehung erscheint die negative Schwankung des elektrischen Stromes, in der Starre verschwindet der Strom; die Starre besteht bei Mangel an Sauerstoff, der zusammengezogene Muskel bedarf desselben; der zusammengezogene Muskel entwickelt Wärme, der starre keine; der zusammengezogene Muskel ermüdet im Gegensatz zum starren u. s. w. —

B. *Physiologie der muskulösen Faserzelle.*

1. Anatomisches Verhalten *). Die Faserzelle, das anatomische Element der glatten Muskulatur, stellt ein verschiedenartig gestaltetes Blättchen dar, dessen Ausdehnung nach einer Richtung (der Länge) diejenige nach der andern überragt; die besonderen Formen ihrer Umgrenzung gleichen bald mehr Spindeln bald einem Oblong. Das einzelne Blättchen ist aus einer entweder optisch vollkommen homogenen oder einer leicht gestreiften Masse gebildet, in welche eine kleine Zelle, ein sogenannter Kern, constant, eingebettet ist; Kölliker. — Die Anwesenheit einer sogenannten Scheide, d. h. eines geschlossenen Säckchens, in welchem das Muskelgewebe läge, ist nicht erwiesen. — Die Faserzellen sind meist mit ihren schmalen Enden zur Bildung von Fasern aneinander gelegt.

2. Chemisches Verhalten **). Die Grundsubstanz der Faserzellen theilt alle Eigenthümlichkeiten des Inhaltes der quergestreiften Muskelröhre; die Flüssigkeit, welche die Grundsubstanz durchtränkt, ist nicht minder der Flüssigkeit des rothen Fleisches ähnlich; nachweislich enthält sie Hypoxanthin, Kreatin, Jnosit, Butter- Milch- und Essigsäure, grössere Mengen von Kali und phosphorsauren Salzen, (Lehmann,) statt des Eiweisses bietet sie jedoch an einzelnen Orten Käsestoff dar; Schultze. — Eine besondere Scheidensubstanz ist auf chemischem Wege nicht nachzuweisen, indem durch Behandlung mit einer verdünnten Salzsäure (1. p. m. haltende Lösung) die ganze Masse mit Ausnahme der Kerne in Auflösung kommt. — Ueber die chemische Natur der Kerne ist nichts ermittelt. —

Die abweichenden Angaben über die Reaktionen der Muskelflüssigkeit auf Lackmuspapier, Schultze fand sie alkalisch (Arterienhaut), Lehmann neutral (tunica dartos) und sauer (tunica muscularis des Magens), sind begreiflich einander nicht widersprechend; sie stellen die von du Bois, an der Flüssigkeit des gestreiften Muskels entdeckte Thatsache am glatten vor.

3. Physiologisches Verhalten. Dieser Muskel besteht in ähnlichen Zuständen wie der quergestreifte. Die Eigenschaften derselben und die Bedingungen ihres Eintritts sind uns aber weit weniger bekannt als bei dem quergestreiften.

a. Verlängerter Zustand. Seine besondern elastischen, chemischen und calorischen Eigenschaften sind noch niemals Gegenstand der Untersuchung gewesen.

Sein elektrisches Verhalten hat du Bois ganz analog dem des ruhenden quergestreiften Muskels gefunden; der einzige Unterschied, der sich herauszustellen scheint, liegt darin, dass die Stärke der abgeleiteten Ströme weitaus nicht so beträchtlich ist als die von dem quergestreiften erhaltenen.

---

*) Henle, Jahresbericht für Fortschritte d. allgem. Anatomie in den Jahren 1847 u. 1850.
**) Lehmann, physiolog. Chemie III. 64.

b. Verkürzter Zustand. Um den glatten Muskel in den verkürzten Zustand überzuführen, ist der Hinzutritt derselben äusseren Bedingungen nothwendig, welche der quergestreifte bedurfte; wie mit der Veränderung der Eigenschaften des Muskels selbst die Werthe der Verkürzung Hand in Hand gehen ist unbekannt.

Die Form des verkürzten glatten Muskels ist noch nicht untersucht; die Maximalwerthe der beobachteten Verkürzung unter günstigen Bedingungen betragen an der Darmmuskulatur nach Valentin 68 p. C. der Längeneinheit der ruhenden Faser. Die zeitlichen Erscheinungen der Zusammenziehung sind abweichend von denen des quergestreiften Muskels; indem die im quergestreiften Muskel rasch ineinander übergehenden Akte hier sehr viel langsamer aufeinander folgen. — Nach Einwirkung eines momentanen Erregungsmittels auf den Nerven des Muskels oder auf den Muskel selbst beginnt meist (eine Ausnahme scheint die Iris zu bilden) erst nach Verfluss von einigen Sekunden der Akt der Zusammenziehung merklich zu werden, dann steigt sie sehr allmälig an, verharrt scheinbar längere Zeit auf einem Maximum und kehrt ebenso allmälig zum alten Zustand zurück. Die Geschwindigkeit der Reihenfolge und Andauer dieser einzelnen Akte ist jedoch an demselben Stück aus uns unbekannten Gründen sehr wechselnd; dem Anschein nach hat alles andere gleichgesetzt die Intensität des einwirkenden Erregungsmittels einen wesentlichen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Zusammenziehung und die Andauer derselben. Ed. Weber der zuerst zeigte, dass diese Langsamkeit der Zuckung eine allgemeine Eigenschaft der glatten Muskelsubstanz sei, schlägt vor, ihre Bewegung durch den Namen der organischen von derjenigen der quergestreiften der animalischen zu unterscheiden. —

Die Eigenschaften der zusammengezogenen Faserzellen sind nicht untersucht. —

c. Der veränderliche Werth der Nutzwirkung, welchen der glatte Muskel mit der steigenden Verkürzung und Last; oder der absolute Werth derselben, den die Querschnittseinheit bei Nullverkürzung zu entwicklen vermag, ist der mangelnden Untersuchung über die Elastizität halber nicht anzugeben. — Wegen des sehr allmäligen Eintritts und Steigens der Verkürzung und der langen Dauer der letztern auf Anwendung eines Erregers von momentaner Dauer ist der glatte Muskel unabhängig von der dauernden Anwesenheit und sich steigernden Intensität der Erreger geschickt, sehr allmälige Bewegungen mitzutheilen und constante Veränderungen in der Ortlage der bewegten Gegenstände zu erzielen. Wir werden die Bedeutung dieser Eigenthümlichkeit im thierischen Haushalte noch an mehreren Orten zu erwähnen haben.

d. Todtenstarre. Die todtenstarre Faserzelle charakterisirt sich wie das starre quergestreifte Muskelrohr durch die Einbusse der mechanischen Leistungsfähigkeit, durch die elektrische Gleichartigkeit des Längen- und Querschnitts und durch eine grössere Steifigkeit. —

Der Tod des Thieres führt die Bedingungen ihres Eintritts mit sich. Nach Nysten erscheint sie bei warmblütigen Thieren am Darm 45 bis 55 Minuten nach dem letzten Athemzuge und beginnt sich schon nach 24 Stunden zu lösen, Angaben die tausendfache Ausnahmen erleiden dürften. —

Zur Theorie der Muskelkräfte.

1. Der Muskel entwickelt zu allen Zeiten seines lebensvollen Bestehens mancherlei Kräfte, chemische, elektrische, thermische, mechanische; die Theorie hat zuerst die Aufgabe diese Kräfte als Resultirende aus den in den Muskeln eingetretenen elementaren Bedingungen zu entwicklen, und dann nachzuweisen, welch innerer Zusammenhang zwischen diesen Kräften selbst wieder bestehe; ob z. B. ein Theil der mechanischen Leistungen als Folge der thermischen oder elektrischen aufgefasst werden könne. — Solchen Anforderungen gegenüber erweist sich aber unser jetziger wissenschaftlicher Erwerb noch als sehr kümmerlich.

Mit einiger Sicherheit kann man die Behauptung wagen, dass die Wärmeentwicklung und die elektrischen Ströme des Muskels aus einer gemeinsamen Quelle, dem chemischen Umsatz seiner Substanz hervorgehen, weil *α.* diese Wirkungen häufige Folgen der chemischen Umsetzung sind. *β.* Weil der Entwicklung dieser Kräfte im Muskel die Umsetzung wenigstens einzelner Theile desselben parallel geht und diese Umsetzung Produkte (CO_2) erzeugt, mit deren Bildung immer Wärmeentwicklung verknüpft ist. — Auf welche Art von chemischer Gruppirung der Stoffe sich aber die Elektrizitätsentwicklung und namentlich die zu verschiedenen Zeiten verschiedene Richtung und Stärke der Gegensätze der Ströme gründen, bleibt zu ermittlen den Untersuchungen zukünftiger Zeiten vorbehalten. —

Ueber den Zusammenhang der einzelnen Kräfte untereinander lässt sich Vermuthungsweise aussprechen, dass die Lagenveränderung der Molekeln, durch welche die sogenannte Zusammenziehung bewerkstelligt wird, abhängig sei von ihren elektrischen Spannungen. Diese Vermuthung gründet sich auf den von du Bois erwiesenen Parallelismus zwischen der Leistungsfähigkeit und der Ausprägung der elektromotorischen Kräfte, ferner darauf, dass mit der Zusammenziehung nachweislich Lagenveränderung der elektromotorisch wirksamen Molekeln vor sich geht. — Da nun bekanntlich auch die Elektrizität als mechanische Kraft benutzbar ist, so würde es einen auf ganz grundlosem Boden beruhenden Zweifel verrathen, wenn man

die oben ausgesprochene Vermuthung nicht als eine sehr wahrscheinliche anerkennen wollte. Zur Gewissheit wird die Hypothese freilich erst erhoben werden, wenn man zu entwickeln im Stande ist, dass die Umlagerung, welche die elektrischen Molekeln beim Uebergang des Zustandes, welcher den ruhenden Muskelstrom erzeugt, in denjenigen, welcher der negativen Stromesschwankung angehört, die Erscheinung der Muskelzusammenziehung nach sich ziehen muss.

Die Veränderungen der elastischen Eigenschaften, welche während der Zusammenziehung hervortreten erläutern sich, wie schon einmal erwähnt, wenn man der Vorstellung huldigt, dass im erregten Zustand nicht der ganze sondern nur ein Theil des Muskels seine Anziehungskräfte ändert. Indem dieser Theil, z. B. die elektromotorischen Molekeln, den neuen Anziehungen durch Einnehmen einer andern Stellung Genüge zu leisten streben, setzen andere Theile des Muskels z. B. die primitive Scheide oder eingestreute elastische Massen, welche ihre alte Anziehung behaupten, dieser Lagenveränderung einen Widerstand entgegen; wenn nun mit der fortschreitenden Lagenveränderung dieser Widerstand im Wachsen begriffen ist, und wenn er namentlich rascher wächst als die anziehenden Kräfte der Molekeln, so muss es begreiflich dahin kommen, dass die elastischen Kräfte mit steigender Verkürzung abnehmen.

Die grosse Aehnlichkeit zwischen den Muskeln und Nerven wird auch ohne dass sie besonders hervorgehoben würde, schon aufgefallen sein. Denn es ist bemerkenswerth dass beide nur unter dem Bestande einer bestimmten chemischen Zusammensetzung ihre Lebenseigenschaften behaupten; dass mit der Entwicklung ihrer physiologischen Kräfte im ruhenden und thätigen Zustande chemische Umsezzungen in ihnen erfolgen, an denen sich das Sauerstoffgas betheiligt; ferner dass sie eine sehr ähnliche wenn nicht gleichartige elektrische Constitution besitzen; endlich dass sie von denselben Erregern eine Umänderung in ihren molekularen Eigenthümlichkeit erleiden. Darum sind aber die beiden Apparate noch nicht identisch, denn es ist zunächst ihre mechanische Constitution eine verschiedene; ferner ist die elektrische dadurch als eine voneinander abweichende bezeichnet, dass den Muskeln die dipolare Anordnung (der electrotonische Zustand) der electrischen Molekeln nicht zukommt und endlich ist auch die chemische Zusammensetzung, wie wir aus den Hirnanalysen schliessen dürfen eine in vieler Beziehung andere.

II. Besondere Muskelphysiologie.

In hergebrachter Weise umspannt die besondere Muskellehre die Verbindung der Muskelelemente zu Muskelmassen, und deren Verknüpfung mit Sehnen und Scheiden; dieser erste Theil der Aufgabe wird jedoch, da sich nur weniges im allgemeinen darüber mittheilen lässt, bei den zusammengesetzten Bewegungswerkzeugen beiläufig Erwähnung finden; ferner die Beziehungen zwischen Muskel und Nerv und zugleich das Eingreifen der Muskelnerven ineinander, und in die Seelenthätigkeiten; endlich die besondere Art der Verwendung des Muskels zum Bewegen der aus Knochen, Knorpel und Bändern zusammengesetzten Maschinen, insbesondere aber derjenigen, welche als das Rumpf-, Gliedmaassen- und Kehlkopfskelet beschrieben werden.

A. *Verknüpfung der Muskeln mit den Nerven.*

1. Verbreitung der Nervenröhren in den Muskeln*). In allen Muskeln, die einer genauen Untersuchung unterworfen wurden, hat man Nerven gefunden. Diese letztern treten in die kürzern quergestreiften Muskeln an einer, in die längern an mehreren Stellen ein; an diesen Orten des Eintritts bilden die Nervenröhren zahlreiche Plexus und zerstreuen sich dann auf zweierlei Art durch den Muskel. Die weitaus grösste Zahl derselben und namentlich alle breitern Röhren beginnen sogleich sich vielfach zu theilen; E. Brücke, Joh. Müller, R. Wagner; diese Aeste endigen schliesslich auf der Scheide des Muskelrohrs stumpf; Reichert. Nach einer genauen Beschreibung von Reichert, der einzigen die wir besitzen, geschieht die Nervenvertheilung in einem Hautmuskel des Frosches so häufig, dass 7 bis 10 in den Muskel eintretende Nervenröhren innerhalb desselben in mindestens 290 bis 340 Aeste zerfallen. Das Lagenverhältniss dieser Aeste zu den Muskelröhren ist weder in ihrem Verlauf noch in ihrem Ende ein regelmässig wiederkehrendes, jedoch scheint es, dass mindestens einmal ein Ast mit einer Muskelröhre in Berührung kommt und dass die Längendurchmesser der Nervenäste und Muskelröhren im allgemeinen sich häufiger kreuzen als parallel laufen. — Eine geringe Zahl der in die Muskeln eintretenden Nervenröhren, nach Bidder und Volkmann 10 bis 12 pCt., gehört zu den feinern; auch sie sollen (jedoch in eine geringere Zahl) von Aesten zerfallen und diese Theilung soll nur sehr allmälig geschehen; Kölliker; man ist geneigt die letzteren für sensible zu halten.

2. Zahlenverhältniss zwischen Muskel- und Nervenröhren. Ausser dem Mengenverhältniss zwischen den Muskelelementen und den Aesten der Nervenröhren ist auch das zwischen den in einen

*) Kölliker, Lehrbuch der mikrosk. Anatomie II. a. 238. — Reichert, Ueber das Verhalten der Nervenfaser u. s. w. Müllers Archiv 1851.

Muskel eintretenden Nervenröhren und den in ihm enthaltenen Muskelschläuchen von Bedeutung; denn wie das erstere Aufschluss gibt über die Grösse der Berührungsfläche zwischen Muskel und Nerv, so bestimmt das letztere die Berührungsfläche der Muskelnerven mit dem Hirn. In Rücksicht hierauf liegen erst wenige brauchbare Untersuchungen vor; nach diesen laufen z. B. in der Bahn des n. oculomotorius 15000, in der des n. trochlearis 1100 bis 1200 und in dem n. abducens 2000 bis 2500 Röhren; Purkinje und Rosenthal; im n. medianus fand Harting*) 22500 und im n. cruralis 35400 Röhren. Erwägt man die bedeutenden Hautflächen, welche die letztern beiden Nerven neben sehr umfangreichen Muskeln versorgen, so ist ersichtlich, dass diese letzteren durch eine viel geringere Summe von Nervenröhren im Hirn vertreten sind, als die von den erstgenannten drei Nerven abhängigen.

3. Veränderung der physiologischen Zustände der Muskeln durch die Nerven. — Wenn die Muskelnerven in die Art der Erregung gerathen, welche von der negativen Schwankung ihrer elektromotorischen Molekeln begleitet wird, so rufen sie in den ihnen beigeordneten leistungsfähigen Muskeln Veränderungen hervor. Diese Veränderungen sind ihrer Natur nach verschiedene ja scheinbar entgegengesetzte, denn es kann, ganz allgemein betrachtet, der erregte Nerv ebensowohl die der Verlängerung als die der Verkürzung zu Grunde liegende Anordnung der Muskelmolekeln bedingen. Dieser Ausspruch ist jedoch dahin einzuschränken, dass ein und derselbe in Erregung befindliche Nerv nicht beliebig seine zugehörigen Muskeln verlängern oder verkürzen könne, sondern dass ein Nerv seine zugehörigen Muskeln entweder nur verkürzen oder nur verlängern kann; gesetzt aber es kann ein Nerv seine zugehörigen Muskeln auch auf beide Arten verändern, so kann er doch immer nur ein und denselben Zustand bedingen, wofern der Ort des Nerven, an welchem die Erregungsmittel angebracht sind, derselbe bleibt.

a. Verkürzung des Muskels durch den erregten Nerven. — Bei weitem die überwiegende Zahl der Muskelnerven führt im erregten Zustand ihre zugehörigen Muskeln in die Verkürzung über, gleichgiltig an welchem Orte ihres Verlaufes die Mittel wirken, welche sie in Erregung brachten. — Nachdem wir schon früher dieses Verhalten der Muskelnerven kennen lernten, bleibt uns hier noch übrig zu untersuchen: ob die Nerven unter allen Erregern einzig und allein im Stande sind, die im ruhigen Muskel vorhandenen Bedingungen so umzuändern, dass sich derselbe verkürze.

Der Gedanke, dass die Erreger nicht direkt, sondern nur durch

*) Recherches micrometriques. Utrecht 1845.

Vermittlung der Nerven den Muskel zur Zusammenziehung bringen, musste entstehen, weil dieselben Erreger die auf den Muskel angewendet die Zusammenziehung veranlassen, auch dasselbe vermittelst alleinigen Anspruchs der Nerven leisten, und weil man, indem man den Muskel als Erregungsort wählt, auch jedesmal den Nerven mit in Angriff nimmt, wegen der innigen Verflechtung von Nerv und Muskel. — Das Interesse, was sich an die Bestätigung oder Widerlegung dieser Vorstellung knüpft, wird ein sehr weitgreifendes, wenn sich, wie geschehen, zugleich an dieselbe die Frage anreiht ob überhaupt die Gegenwart der Nerven eine nothwendige Bedingung für die Zusammenziehung resp. das lebensvolle Bestehen des Muskels sei. In diesem weiteren Sinne gefasst kann die Streitfrage nur entschieden werden α) wenn es gelingt eine Zuckung zu erhalten von einem Muskel der keine Nerven enthält, oder dessen Nerven bis an seine äussersten Spitzen funktionell vernichtet sind; β) wenn es möglich ist eine Zuckung durch ein Mittel zu erhalten, das den Nerven auf jedem beliebigen Ort seines Verlaufs niemals in Erregung versetzt; γ) oder wenn sich aus den Eigenthümlichkeiten des Nerven und des Muskels der Nachweiss liefern lässt, dass die Nerven zum lebensvollen Bestehen des Muskels nothwendig oder ihm unnöthig sind, da nur in diesem Falle ein negatives Resultat der unter α und β angedeuteten Versuchsreihen einen allgemein giltigen Charakter annehmen würde. — Da die Mittel zur tadelfreien Ausführung der bemerkten Versuche fehlen, so ist unser seit mehr als einem Jahrhundert geführte Streit noch zu keinem Ende gebracht worden; wahrscheinlich ist es aber, dass die Erregung des Nerven nur einen der mannigfachen Umstände darstellt, durch welche der Muskel zur Zusammenziehung veranlasst werden kann. Denn es stimmen die Nerven und Muskeln in so vielen Eigenschaften überein und namentlich zeigen sie durch die gleiche Gruppirung ihrer elektromotorisch wirksamen Theile in der Ruhe und Thätigkeit so viel Analogie, dass die Annahme nahe liegt, es möchten beide Apparate auch gegen dieselben Erreger sich vollkommen gleich oder mindestens sehr analog verhalten, so dass damit erklärt wäre, warum meist dieselben Einflüsse im Nerven und im Muskel die negative Stromesschwankung erzeugen. Noch mehr aber spricht für die Selbstständigkeit der Muskeln die Thatsache, dass es gelingt Zustände in ihnen zu erzeugen die, wie es wenigstens scheint, denen der Zusammenziehung sehr ähnlich sind, ohne dass zugleich die Nerven in eine nachweisliche Erregung kommen. Hierzu zählt vor allem der unter dem Namen der Wärmestarre beschriebene Zustand, der aus diesem Grund vorzugsweise auf seine anderweitigen physikalischen Eigenschaften untersucht zu werden verdiente.

Wir zählen nun noch eine Reihe von Versuchen auf, die zu keinem sichern Resultat führen konnten, weil die zu Grunde liegende Methode eine mangelhafte ist; sie

beruhen sämmtlich auf dem Prinzip den Nerven bei der Erregung zu eliminiren, man stellte sich die Aufgabe Muskeln in Zusammenziehung zu versetzen, von welchen man die Annahme machte, dass sie überhaupt keine Nerven enthielten. a. Zu dem Behuf suchte man an mikroskopischen Muskelstücken, in denen man keinen Nerven nachweisen konnte, Zusammenziehung zu veranlassen. Gelang dieses, so widerlegte es die Hypothese der nothwendigen Gegenwart der Nerven nicht, weil bei der Schwierigkeit der Beobachtung niemals mit Sicherheit die Abwesenheit aller Nerven behauptet werden kann; misslang es den Muskel in Zusammenziehung zu bringen, so stützte dieses die Hypothese nicht, weil sehr kleine Muskelstücke ihre Lebenseigenschaften sehr schnell einbüssen *). b. Oder man suchte Muskelpartien in einer Zeit ihrer Entwickelung auf, in denen sie Beweglichkeit besitzen, ohne dass schon Nerven in ihnen nachgewiesen werden konnten; R. Wagner **). Zu diesen Muskeln gehört u. A. das Herz des Hühnerembryo, das am zweiten Tag der Bebrütung das rhythmische Spiel seiner Bewegungen beginnt, zu einer Zeit, wo das Nervensystem überhaupt noch durchaus keine den späteren analogen Formelemente darbietet; diese und ähnliche Versuche sind darum beweisunkräftig, weil in jener Zeit auch die Muskeln noch nicht aus Muskelröhren zusammengesetzt sind. 2. Man suchte Muskeln in Zusammenziehung zu bringen, deren zugehörige Nerven, ihre Erregbarkeit vorübergehend oder für immer eingebüsst haben sollten. Hierher sind zu rechnen a. die Beobachtung an den Nerven und Muskeln der Verdauungswerkzeuge; die Muskelhäute dieser Apparate können zu Zeiten nur durch direkte Einwirkung der Erreger auf die Muskeln, zu andern aber auch durch eine solche auf die Nerven zur Verkürzung gebracht werden. b. Kurz vor dem vollkommenen Absterben der Muskeln sind dieselben nicht mehr von den ihnen zugehörigen Nerven aus, sondern nur durch unmittelbare Ansprache zu verkürzen, Harless, Schiff. c. Endlich die sehr zahlreich von Fontana, J. Müller, Sticker, Nasse, Stannius, Longet u. A. ausgeführten Versuchsreihen. Diese fussen auf der Beobachtung, dass die Nervenröhren, welche von dem zugehörigen Centralorgane (Hirn oder Rükkenmark) getrennt sind, in den Stücken ihres Verlaufs, der in dem Nervenstamme geschieht, ihre Erregbarkeit sehr rasch einbüssen, bei Säugethieren gewöhnlich nach 4 Tagen, während der Muskel seine Leistungsfähigkeit immer 6 bis 12 Wochen bewahrt Als ein constantes Resultat dieser Versuche ergab sich also, dass wenige Tage nach Durchschneidung eines Nerven die Muskeln von dem mit ihm in Verbindung stehenden Stumpf des ersteren nicht mehr in Verkürzung gebracht werden konnten, während der Muskel durch unmittelbare Einwirkung der Erreger noch nach Wochen und Monaten in Zusammenziehung kam. — Allen unter dieser Nummer verzeichneten Versuchen kann der vorerst nicht wegzuräumende Einwand entgegengesetzt werden, dass die Nerven wohl im Verlauf durch den Stamm, nicht aber innerhalb der Muskeln selbst ihre Erregbarkeit eingebüsst haben mögen. Dieser Einwurf gewinnt an Stärke im Hinblick auf das Valli-Ritter'sche Gesetz des Absterbens motorischer Nerven von dem Centralorgane zu der peripherischen Ausbreitung (v. p. 118). Vielleicht liesse sich jetzt, seitdem man die Nervenendigungen in den Muskeln kennt feststellen, ob die Nerven innerhalb derselben bei dem unter c erwähnten Versuch ähnliche Strukturveränderungen erlitten haben, als in den Stämmen. Damit würde der gegen ihn erhobene Einwurf beseitigt sein. 3. Man suchte endlich die Erregung des Muskels auf sehr kleine Räume zu beschränken, und dann aus der Zergliederung der eintretenden Verkürzungen den Beweis zu ziehen, dass der Muskel ohne Zuthun der Nerven in Verkürzung gerathen sei; Wild, Ludwig. Streicht man z. B mit einer fein geschärften Holzkante (einem Scalpellstiel) über den Magen eines eben getödteten Thiers, so kann man beliebige Formen und Ausbreitungen der Zu-

*) S. hierüber besonders R. Wagner. Gött. gel. Anzeigen 1851. N. 14.
**) Göttinger gelehrte Anzeigen 1850. N. 15.

sammenziehung erzeugen; man findet diese Thatsache in einem scheinbaren Widerspruch mit der durch die Nervenerregung erzeugten Zusammenziehung, da diese sich immer erstrecken müsste über das ganze Gebiet, welches dem erregenden Nerven unterthan ist. Der Thatsache fehlt aber zum Beweis die Kenntniss der Vertheilung der Nerven in dem Magen — respective Darmmuskeln.

b. Verlängerung des Muskels durch den erregten Nerven. Eine geringe Zahl von Nervenröhren scheint überraschender Weise wenn sie in den von der negativen Schwankung der elektromotorischen Molekeln begleiteten Erregungszustand kommt eine Verlängerung in den ihnen zugehörigen Muskeln zu erzeugen. Als einzig unzweifelhaftes Beispiel für diese Art des Zusammenhangs zwischen Nerven und Muskeln dient das von Ed. Weber (und Budge?) entdeckte Verhältniss zwischen dem n. vagus und der Herzmuskulatur. Erregt man diesen Nerven vor seinem Eintritt in das Herz, so folgen die Schläge dieses letztern in grössern Zwischenräumen als vorher, so dass das Herz oft minutenlang in der Erweiterung stille steht, und umgekehrt durchschneidet man den n. vagus, womit die Ausbreitung des Nerven im Herzen dem Hirneinfluss entzogen ist, so mehrt sich die Zahl der Herzschläge in einer ausserordentlichen Weise. Diese Erfahrung bedeutet aber genauer ausgedrückt eigentlich etwas anderes, als das, was wir vorhin aus ihr folgerten; denn offenbar berechtigt sie nur zu dem Ausspruch, dass der erregte n. vagus ein die Zusammenziehung des Herzens veranlassendes Moment wegzuräumen im Stande sei. Dieser Ausspruch schliesst nun wie ersichtlich die Nothwendigkeit der Annahme gar nicht in sich, dass der Nerv geradezu auf den Muskel wirke. In Uebereinstimmung mit dieser Annahme steht die Thatsache, dass der nerv. vagus vor seiner Einsenkung in die Muskeln mit zahlreichen Ganglienkugeln belegt ist, und dass der Nerv, wenn er jenseits der Stellen, in denen er von dieser Masse umgeben ist, erregt wird, die beschleunigte Zusammenziehung des Herzens veranlasst; Hoffa, Ludwig. Man darf hieraus mit einiger Wahrscheinlichkeit schliessen, dass der Nerv, indem er das Herz beruhigt nicht auf die Muskeln sondern auf die Ganglienkugeln wirkt.

Eine grössere Reihe anderer Beispiele, die man meist mit dem eben besprochenen Fall zusammenstellt, ist noch zu dunkel, als dass sie schon einer genaueren Erwägung unterworfen werden könnte. Hierher gehört: dass eine durch Reflex eingeleitete Bewegung von dem Willen unterdrückt werden kann, wie z. B. die Zusammenziehung des m. orbicularis palpebrarum, wenn ein Schlag gegen das Auge geführt wird; ferner vermuthet mit Wahrscheinlichkeit Kölliker*), dass die Erektion des penis durch eine von der Nervenerregung eingeleitete Erschlaffung der cavernosen Muskeln ermöglicht werde u. s. w. Da man in diesen Beispielen nicht einmal den erregenden Einfluss kennt, so wäre es gedenkbar, dass hier dieser selbst ein anderer wäre, in Folge dessen möglicher Weise die Nerven in einen von der gewöhnlichen Erregung abweichenden Zustand kämen. Siehe hierüber noch Reflexbewegung und Willenshemmung.

*) Verhandlungen der physik. med. Gesellschaft in Würzburg II. Nr. 8 u. 9.

Eine Hypothese über das Zustandekommen der Wechselwirkung zwischen Muskeln und Nerven, welche in Uebereinstimmung mit den bekannten Thatsachen sich befindet, ist nicht aufgestellt.

Durch die du Bois'schen Untersuchungen sind wir aber der Hoffnung auf eine solche sehr viel näher getreten, und es lassen sich jetzt schon aus der von ihm entdeckten gleichartigen elektrischen Constitution des Nerven und Muskels mancherlei Vorstellungen, wie über die Weiterleitung der Erregung innerhalb des Nerven, so auch über die Uebertragung der Erregung aus dem Nerven in den Muskel bilden. Dennoch scheint es gerathener, nicht ins Nähere derselben einzugehen, bevor sie einer genaueren Prüfung unterworfen sind.

4. Anordnung der Muskelnerven im Hirn und Rückenmark. Unzweifelhaft sind in dem Hirn und Rückenmark die Muskelnerven durch irgend welchen Mechanismus in eine solche Beziehung zueinander gebracht, vermöge welcher eine einfache räumlich und zeitlich beschränkte Erregung eine räumlich und zeitlich geordnete Bewegung zu erzeugen vermag. Diese Behauptung ist nichts anderes als der Ausdruck der Thatsachen, dass auf eine vorübergehende Erregung eines sensiblen Nerven die complizirten Muskelakte des Hustens, Niesens, Schlingens u. s. f. eintreten; ferner dass die Seele, wenn sie in Leidenschaften befangen ist, wo ihr die Fähigkeit abgeht mit Bewusstsein die Muskeln zu geordneten Bewegungen zu verknüpfen, unbewusst einzelne Muskelgruppen in geordneter Weise anregt, die wir gewöhnlich als die leidenschaftlichen Ausdrücke des Schmerzes, der Freude, des Zorns u. s. w. bezeichnen; ferner dass die Seele die Bewegungen gewisser Muskeln nicht trennen kann, wie die der Augenmuskeln, des Cirkelmuskels der Iris und des m. rectus internus bulbi, die Heber und Senker des Zungenbeins, die beiderseitig entsprechend gelegenen Muskeln im Gaumensegel, larynx, pharynx, perinaeum u. s. w. Diese Verknüpfung bezieht sich nun nicht allein auf ein räumliches Nebeneinander, sondern auch auf die zeitliche Reihenfolge, da, wie wir wissen, durch einen momentan wirksamen Willenseinfluss, oder auf reflektorischem Wege durch einen kräftigen aber vorübergehenden sensiblen Eindruck eine Bewegung erzeugt werden kann, welche aus einzelnen allmälig sich abwickelnden Akten besteht; Beispiele dafür bieten die auf willkürliche Anregung des Schlundkopfs eingeleiteten peristaltischen Bewegungen der Speiseröhre u. s. w.

Die Gewissheit, dass diese Ordnung der Bewegung abhängig sei von den Nervenmassen im Hirn und Rückenmark, gibt uns die Erfahrung dass nach theilweisen oder gänzlichen Zerstörungen dieser letzteren den Muskeln die Fähigkeit ein und für allemal fehlt, sich in der angegebenen Weise zu combiniren.

Auf welche Weise diese Anordnung ausgeführt wurde, ist unbekannt. Hindeutungen auf die Art des Zustandekommens dieser Verknüpfung liegen jedoch darin, dass derselbe Muskel aus verschiedenen Wurzeln Nervenröhren empfängt; ferner dass aus annähernd gleichen Orten des Hirns und Rückenmarks die Nerven abgehen, wel-

che sich zu den Muskeln begeben, die an einer Gruppe von Bewegungen betheiligt sind; und endlich dass Muskeln, welche in sehr vielfachen Verbindungen mit andern auftreten, auch stärkere Nervenstämme in sich zur Verbreitung bringen. Ueber das Einzelne der Einrichtung dieser Bewegungsordner sind wir dagegen noch vollständig ohne Kenntnisse. Schon bei der Betrachtung der Reflexbewegung wurde hervorgehoben, dass man sie sich nicht als eine einfache, räumliche Gruppirung der Nervenröhren zu denken habe.

5. Veränderungen der Empfindungsorgane durch die Muskeln oder Muskelnerven. Muskelsinn.*) Die Mittheilungen, welche der Seele vom jeweiligen Zustande der Muskeln zukommen, äussern sich unter verschiedenen Formen.

a. Alle der Willkür unterworfenen Muskeln bringen das Bestehen und den Grad ihrer Zusammenziehung zum Bewusstsein ohne jegliche Empfindung innerhalb der bewegten Muskeln. Dieses Bewusstsein äussert sich entweder unmittelbar als Vorstellung von der Stellung der Glieder, oder noch häufiger als eine Modifikation unserer aus anderweitigen Erfahrungen gezogenen Urtheile. — Solche Erscheinungen finden sich ausgesprochen

Im Tastsinn. α) Die Form eines Körpers wird uns nur dann zur Vorstellung, wenn wir mit den beweglichen Gliedern, auf denen tastende Flächen sich befinden, die Form umgreifen. Dass hier die Muskelbewegung das Urtheil der Form wesentlich bedingt, ergibt sich sogleich von selbst, wenn man bedenkt, dass den tastenden Flächen beim Umgreifen eines Cylinders, Viereckes etc. mit den Fingern selbst kein Unterschied in der Empfindung zu Theil werden kann. — β) Wir beurtheilen aus unseren Bewegungen und aus dem veränderlichen Drucke, welchen tastende Flächen von widerstandleistenden Körpern erfahren, die Richtung, in welcher ein Widerstand oder ein Zug auf unsern Organismus wirkt; so z. B. aus Bewegungen des Kopfes die Zugrichtung, welche auf unsere Haare ausgeübt wird; E. H. Weber. — γ) Wir schätzen die Länge eines in der Hand u. s. w. gehaltenen, und gegen eine unbewegliche Unterlage festgestemmten Gegenstandes aus dem Umfang der Muskelzusammenziehung, die nothwendig ist um ihn um gleiche Winkel in ein und derselben Ebene zu drehen etc. —

Im Gesichtssinn. α) In das Urtheil über die Stellung der gesehenen Gegenstände zum Horizont geht die Vorstellung über die Lage des Rumpfes und Kopfes mit ein, wie dies unwiderleglich dadurch bewiesen wird, dass dieselben Netzhautfasern, die von einem Nachbild eingenommen sind, uns beim Aufrechtstehen des Kopfes senkrecht und beim Biegen des Kopfes wagrecht gelagert erscheinen. (Rüte). — β. Die scheinbare Grösse des gesehenen Objekts ist

*) E. H. Weber, Tastsinn in Wagners Handwörterbuch III. b.

zum Theil abhängig von dem Zustande der Accommodationsmuskeln, wie daraus erwiesen ist, dass genau dieselbe Netzhautfläche sehr verschiedene Vorstellungen von ihrer Grösse erweckt, je nachdem man das Auge auf einen fernen oder einen nahen Gegenstand eingestellt hat, wie aus dem instruktiven Versuche p. 251 hervorgeht. — γ) Wir beurtheilen die Entfernung eines Gegenstandes aus dem Grad der Zusammenziehung und der Art der Verbindung, in welcher sich die einzelnen Augenmuskeln befinden; wie daraus hervorgeht, dass wir denselben Gegenstand, wenn auch seine absoluten Entfernung von der Netzhaut nicht verändert wird, in sehr verschiedene Entfernungen sehen können, je nachdem wir denselben mit mehr oder weniger convergirenden Augen betrachten; H. Meyer. — δ) Die Bewegung eines gesehenen Gegenstandes schätzen wir endlich aus der Bewegung unserer Augen, der des Kopfes und Rumpfes, und der gleichzeitigen Bewegung des Bildes über die Retina, wie unzweifelhaft die Thatsache erweist, dass ein Gegenstand uns ruhend oder bewegt erscheint, je nachdem sein Bild über die Retina geführt wird, während einer selbstständigen Bewegung des Rumpfes, Kopfes oder Auges, oder während Rumpf, Kopf und Auge ohne Hinzuthun der ihnen zugehörigen Muskeln weitergeschoben werden. —

Gefühl des Gleichgewichtes, Schwindel. Aus dieser stetigen Einwirkung der Muskeln auf das Hirn scheint auch das Bewusstsein des Gleichgewichtes hervorzugehen; es möchte wenigstens schwer sein dieses eigenthümliche, unwillkürliche Bestreben anders zu erläutern, in Folge dessen bei einer Verrückung des Schwerpunktes unseres Rumpfes, jedesmal eine Bewegung zur neuen Unterstützung desselben unternommen wird. Henle.

Endlich wird durch das Bewusstsein von dem Grad der Muskelspannung die Fähigkeit bedingt, Gewichte ihrer Grösse nach zu schätzen. Dieses Vermögen ist von allen den erwähnten dasjenige, welches einer genauen Untersuchung, und zwar durch E. H. Weber unterworfen worden ist. Um die Schätzung der Gewichte, wie sie aus dem Druck auf die Hautnerven geschieht nicht einwirken zu lassen, liess er die Hand ein mit Gewichten beschwertes Tuch fassen, so dass kein Druck von Seiten des Gewichtes auf die Haut der Hand ausgeübt, sondern das Tuch nur durch Reibung festgehalten wurde; in allen Fällen wurde das Tuch möglichst fest zwischen die Hautflächen gedrückt, viel fester als nöthig, um dasselbe zu halten. Selbst ungeübte Personen konnten dann noch aus zwei Gewichten, von denen das eine 78, das andere 80 Unzen betrug, das leichtere aussuchen.

b. Die Muskeln, gleichgiltig ob sie der Willkür unterworfen, oder ihr nicht unterworfen sind, erzeugen unter bestimmten Umständen und zwar meist entweder während des Bestehens (langdauernder oder heftiger) Zusammenziehungen, oder auch im unmittelbaren Ge-

folge ihres Nachlasses Empfindungen, die mit dem ganz bestimmten Bewusstsein vom Orte der Empfindung begleitet sind. —

Diese Empfindungen sind ebenfalls von E. H. Weber genauer untersucht. Während die Muskeln auf Brennen und Schneiden etc. kaum eine Empfindung geben, erwecken sie einen fast unerträglichen Schmerz durch sehr intensive Zusammenziehung (z. B. beim Wadenkrampf), oder wenn sie sehr lange, selbst in sehr mässiger Zusammenziehung erhalten wurden (Ermüdung). In diesem letzten Fall überdauert der Schmerz die Zusammenziehung oft sehr lange Zeit. Diese Empfindung tritt auch in den unwillkürlich beweglichen Muskeln wie in denen der Därme, dem Uterus, vielleicht in der Contraktion des Magens (als Hunger?) oder der glatten Muskelfasern der cutis (als Ameisenkriechen, Kitzeln u. dgl.) ein.

c. Es scheint, als ob einige Muskeln im Stande wären (vermittelst der Nerven) dem verlängerten Mark oder andern Hirntheilen durch den Zustand der Zusammenziehung Erregungen mitzutheilen, welche Reflexbewegungen in andern Muskeln auslössten. Diese Fälle scheinen selten zu sein und ihre Erklärung steht noch nicht ganz fest, wir verweisen auf die Schlund- und Darmbewegung bei der Lehre von der Verdauung.

Ob die Nerven, die dem Muskelsinne dienen, und diejenigen, welche die Muskelbewegung veranlassen dieselben sind, ist gegenwärtig schwer zu entscheiden.*) Es wäre denkbar und nicht unwahrscheinlich, dass alle Einflüsse, welche durch willkürliche Nerven auf unsere Vorstellungen und sinnlichen Urtheile ausgeübt werden, sogleich durch den Akt der willkürlichen Erregung geschehen, so dass die Willensanstrengung nach einer oder der andern Richtung hin als ein Element in unser Urtheil aufgenommen würde. Diese Meinung findet ihre Stütze darin, dass die das Urtheil bestimmenden Bewegungen in den überwiegend meisten Fällen gar nicht als Muskelempfindungen auftreten. — Anderseits ist es dagegen wahrscheinlich, dass die Muskelgefühle und Muskelschmerzen sogenannten sensiblen Nervenröhren ihren Ursprung verdanken, weil 1. fast allen ursprünglich nur motorischen Nervenwurzeln auf ihrem Weg zu den Muskeln sensible beigemengt werden; so den n. n. facialis, oculomotorius, hypoglossus u. s. w. 2. Weil man in unwillkürlich beweglichen Muskeln ebenso heftige Schmerzen empfindet, als in willkührlich beweglichen. 3. Weil selbst die heftigsten Erregungsmittel auf die mit dem Rückenmark und Hirn in Verbindung stehenden vordern oder motorischen Nervenwurzeln angewendet keinen Schmerz erzeugen (Bellsches Gesetz.) 4. Weil endlich die nach dauernden Anstrengungen in den Muskeln entstehenden Schmerzen noch Stunden und selbst Tage lang nach dem Aufhören der Erregung motorischer Nerven bestehen. Das Unternehmen

*) Spiess, Physiologie des Nervensystems. Braunschweig 1844. p. 76.

eine solche Wirkung als Nachempfindung zu deuten, möchte schwer seine Rechtfertigung in der Analogie finden; das Phänomen erläutert sich dagegen einfach, wenn man annimmt, dass die Schmerzen durch Erregungsmittel bedingt werden, die aus der chemischen Destruktion der Muskeln hervorgehen, und die auf die in den Muskeln vorhandenen sensiblen Nerven wirken. Solche Destruktionen sind nun aber bekanntlich immer die Folgen anhaltender Bewegung.

Gegen diese Reihe von Gründen lässt sich nur geltend machen, dass auch die Muskeln auf Angriffe, als Zerschneiden, Brennen etc., die sonst in sensiblen Nerven sehr lebhafte Schmerzen erwecken, nie oder selten mit Schmerzensäusserungen antworten. Dieser Einwand ist aber nicht einmal bindend, weil auch viele andere nachweislich sensible Flächen (Magenfläche, Speiseröhre u. s. w.) erst schmerzen, wenn die wenigen in ihnen enthaltenen sensiblen Nervenröhren in ganz besondern Erregbarkeitszuständen sich finden.

Die Verbindungen der Muskeln mit den besondern Erregungsquellen, und namentlich mit den Organen des Willens, der automatischen Erregung und der reflektorischen Uebertragung würden nun zu behandeln sein. Rücksichtlich der Stellung der Muskelnerven zum Willen verweisen wir auf Seelenwirkung; den kärglichen Betrachtungen über Reflex und Automatie, die wir schon gaben, ist nichts weiter zuzufügen.

B. *Das Skelet mit seinen Muskeln.*

Die folgende Betrachtung fasst das Skelet mit seinen Muskeln einzig von dem mechanischen Gesichtspunkt auf. In diesem Sinne stellt es ein Bewegungswerkzeug dar, das sich aus trägen, empfangene Bewegung übertragenden (Knochen, Knorpelgebilden, Bänder, Sehnen) und aus lebendigen, freie Kräfte erzeugenden Massen (Muskeln) zusammensetzt; oder nach einer andern Seite hin ausgedrückt, das Skelet ist eine mannigfache Zusammenordnung zahlreicher Hebel, welche von den zwischen liegenden Muskeln bewegt werden. —

Mit Hilfe der bekannten mechanischen Prinzipien würde das Skelet und seine Bewegungen vollkommen zu verstehen sein, man würde eben so leicht jede noch so complizirte Leistung desselben aus ihren einfachen Bedingungen erläutern können, als man auch alle seine Verrichtungen im Voraus zu bestimmen im Stande wäre, wenn die mechanischen Eigenschaften desselben aufgedeckt sein würden. Zu diesen wäre aber zu zählen, 1. die Festigkeit, die Elastizität und das spezifische Gewicht des Baumaterials sämmtlicher Träger und lebendiger Theile. 2. Die Form und das Gewicht der Hebel, die Lage der Stützpunkte und der Angriffspunkte der Kräfte an ihnen. 3. Die Verbindungen der Hebel unter einander, insbesondere die Art, die Festigkeit und die Beweglichkeit derselben. 4. Die Kraft und die Richtung, mit welcher die Muskeln gegen die einzelnen Angriffspunkte angehen, und in welcher Ausdehnung sie sich verkürzen.

Unternimmt man nun den Versuch, von diesem Gesichtspunkte aus die Darstellung des Skelets durchzuführen, so gewahrt man bald, dass ihm von Seiten der Anatomen fast noch nirgends vorgearbeitet ist; sie beschreiben fast überall statt der wesentlichen die unwesentlichen Dinge. Darum ist es auch vollkommen unmöglich, die inhaltreichsten Fragen einer Beantwortung entgegenzuführen, z. B. die nach der Harmonie des Skelets mit den übrigen Körperbestandtheilen d. h. warum gerade diese und keine andere mechanischen Prinzipien für den Aufbau des Skelets verwandt werden mussten, bei der gegebenen Leistung der Verdauungskräfte des Herzens und der von dem Skelet zu liefernden Arbeit; ferner die Ableitung der Grenzen innerhalb der sich das Volum eines Skelettheils mindern oder mehren darf, wenn einer der übrigen Skelettheile gegeben ist; ferner durch welche Mittel ein, z. B. durch Krankheit ausfallender Theil compensirt wird und wie weit diese Vertretung möglich; welche Muskeln und Nerven sich an einzelnen Bewegungen betheiligen u. s. f. u. s. f. —

Baumittel des Skelets.

Die Formen der trägen Skeletbestandtheile sind dargestellt aus Knorpel-, Knochen- und Bandmasse.

Die Knochenmasse verdankt im mechanischen Bezuge ihre wichtigsten Eigenschaften dem Umstand, dass in ein elastisches von Wasser durchtränkbares Grundgewebe eine kalkartige nicht oxydirbare Masse inkrustirt ist, in gerade hinreichender Menge um dieser einen hohen Grad von Steifheit und Festigkeit zu geben, so dass sie die Eigenthümlichkeit der Metalle und der Steine verbindet. — Eine Bestimmung des Coeffizienten der Federkraft und Festigkeit der Knochensubstanz überhaupt ist mit den bisher benützten Methoden nicht möglich.

Die Festigkeit und Federkraft der Knochenmasse muss, wie aus der Natur der Sache hervorgeht, mit der Zusammensetzung, und noch mehr mit dem Gehalt an Markkanälchen, Knochenhöhlen u. s. w. wechseln; die beiden Eigenschaften müssten darum als Funktionen dieser Bedingungen bestimmt werden. Die Untersuchungen von Wertheim*) sind darum nur von Bedeutung insofern sie zeigen, dass im Allgemeinen bei Anhängen von Gewichten an möglichst gleichartige Knochenstreifen die Verlängerungen direkt proporional mit der Vermehrung der Gewichte steigen; dass in der Knochenmasse des Waden- und Schenkelbeins der absolute Werth des Elastizitätscoeffizienten mit dem Alter steigt und endlich, dass weder der Elastitäts- noch der Cohäsionsmodul in einfacher Beziehung zu dem spezifischen Gewicht des Knochens steht. Die Wertheim'sche Untersuchung ergab:

Knochenstreifen.	Geschlecht.	Alter.	spec. Gewicht.	Elastiz. Coeff.	Festigkeit.
der femur . .	weiblich	21 Jahr	1,968	2181	6,87
- perone .	weiblich	21 -	1,940	2710	10,26
- femur . .	männlich	30 -	1,984	1819	10,50
- perone .	männlich	30 -	1,997	2059.	15,03
- femur . .	weiblich	60 -	1,849	2421	6,40
- perone .	weiblich	60 -	1,799	—	3,30
- femur . .	männlich	74 -	1,987	2838	7,30
- perone .	männlich	74 -	1,947	—	4,33

*) Annal. de chim. et physiq. XXI. 1847.

In dieser Tabelle bedeutet die Festigkeit das Gewicht in Kilogrammen, welches nöthig war, um ein □ mm. Substanz zum Zerreissen zu bringen. Alle übrigen Zahlen und Bezeichnungen sind für sich verständlich.

Das Gewebe der Knorpel zeichnet sich vor dem der Knochen durch Biegsamkeit aus; neben dieser Biegsamkeit zeigt es jedoch eine grosse Zähigkeit, welche aber namentlich in einzelnen Richtungen grösser als in andern ist. Einen besondern Charakter erhält es noch durch die zahlreichen mit incompressibler Flüssigkeit erfüllten Höhlen, welche zwischen seine festen Massen gelagert sind. Allgemeingiltige Cohäsions- und Elastizitätsmoduli sind aus ähnlichem Grunde wie bei den Knochen nicht bestimmbar.

Zur Bildung der Bandmassen sind bekanntlich verschiedene Elementargebilde benutzt; namentlich gibt es elastische, Bindegewebs- und Fett-Bänder; von allgemeinerer Wichtigkeit sind Bindegewebs- und elastische Bänder vorzüglich dadurch, dass sie bei niedern Spannungsgraden sehr dehnbar, bei höheren dagegen sehr steif sind, und ferner dadurch, dass sie bei ihrer grossen Dehnbarkeit eine ausserordentliche Festigkeit besitzen. —

Form der Knochen.

Die Form besitzt Antheil an der Bestimmung der Widerstandsfähigkeit der Knochenmasse; ferner an der Richtung, Art und Ausdehnung der Beweglichkeit der Knochen aneinander; ferner an der Wirkung des auf sie ausgeübten Muskelzuges, vornehmlich ob dieser letztere Druck oder Bewegung erzeuge; ferner welchen Umfang und welche Geschwindigkeit die auf den Knochen übertragene Bewegung gewinne.

Ein und derselbe Stoss wird den Zusammenhang derselben Masse je nach ihrer Vertheilung im Raume zu lösen oder nicht zu lösen vermögen; bei gleichbleibender Anordnung und wechselnder Richtung eines Stosses wird die Masse dem Angriff bald widerstehen oder durch ihn zerbrechen. Diesen allgemeinen Grundsatz hat die Mechanik in seine Einzelheiten verfolgt und namentlich hat sie festgestellt, welche Widerstandsfähigkeit dieselbe Masse je nachdem sie als Platte, Säule, Würfel, Kegel u. s. w. geformt ist dem Stoss und Druck entgegensetzt, wenn letztere senkrecht, parallel oder drehend gegen die verschiedenen Ebenen und Kanten jener Gebilde treffen. Man hat es bis dahin versäumt in einer genauer durchgeführten Untersuchung eine Anwendung dieser Regeln auf die Osteographie zu machen, so dass sich ausser selbst verständlichen Dingen, w. z. B. ein Röhrenknochen, welcher an einem Ende befestigt ist, zerbricht leichter durch einen Stoss der senkrecht gegen die Längenachse geht als durch einen der gegen die Cylinderbasis trifft u. s. w., nichts sagen lässt. Soweit aber eine oberflächliche Betrachtung Einsicht gestattet, ist das menschliche Skelet den hier einschlagenden Regeln der Mechanik gemäss gebaut, so dass z. B. Knochen und Knochenabtheilungen, welche grosse Lasten zu tragen, kräftigere Muskelzüge zu

erleiden haben, nicht allein massiver sind, sondern auch den zerdrükkenden Kräften in der Richtung grössten Widerstandes entgegentreten, oder dass wenn dieser Regel entgegen starke Drücke senkrecht gegen grössere dünne Platten gehen, diese nicht aus einem, sondern einer grösseren Zahl klotzförmiger Knochen bestehen u. s. w.

Die Richtung, nach welcher sich zwei berührende Knochen aneinander bewegen lassen, findet eine ihrer wesentlichen Bestimmungen in der Form der sich treffenden Flächen; je nachdem diese säulenartig, kegelförmig, kugelig u. s. w. geformt sind wird der eine auf dem andern Knochen in dieser oder jener oder in mehrere Ebenen verschiebbar sein. Der Umfang möglicher Bewegung wächst sowohl mit der freien Stellung, die den Flächen an den Knochenenden zukommen, als auch mit der Zahl der Grade, die ihre Krümmungen umschliessen, vorausgesetzt dass dieselbe um einen Mittelpunkt gehen, oder wenn dieses nicht der Fall, mit ihren Ausdehnungen. Die Festigkeit der Verbindung endlich, soweit sie vom Knochen selbst abhängt, steigt mit der Vermehrung der sich berührenden Punkte. Auch diese wichtige Verhältnisse sind bisher meist ganz oberflächlich behandelt, so dass eine Einordnung der einzelnen Knochenformen in ein auf die vorliegenden Grundsätze gebautes System unmöglich ist.

Die Längen und namentlich die Abstände der freien und eingelenkten Enden eines Knochens, der als Halbmesser um einen Drehpunkt oder eine Drehachse einen Kreis beschreibt, bestimmen das Verhältniss der Geschwindigkeit am Ende und Anfang des Knochens. Die Richtungen des Knochens gegen den Gelenkfortsatz, insbesondere gegen die Achse der Bewegung, weissen den ziehenden Muskelkräften ihren Ansatzwinkel an, d. h. denjenigen, welchen die Richtung der Muskelkräfte mit ihrem zugehörigen Hebelarm bildet. Je mehr sich dieser Ansatzwinkel dem rechten nähert, ein um so grösserer Antheil der Muskelkraft wird zur Ortsveränderung und ein um so kleinerer zur Zusammenpressung der Gelenkenden verwendet. Je breiter endlich die nach einer Richtung hin sehende Fläche ist, welche der Knochen den sich an sie setzenden Muskelfasern bietet, um so weniger werden die zu einem Muskel zusammengefassten Röhren gegen diesen Knochen hin convergiren, so dass grosse Mengen gleich langer in gleicher Richtung wirkender Muskelröhren hier entspringen können.

Demnächst wäre nun zu untersuchen, welche Folgen aus der Verbindung mehrerer Knochenformen entstehen; d. h. wie sich der folgende Knochen gestalten muss rücksichtlich seiner Gelenkfläche und der Grösse und Lage seiner Muskelansatzorte, wenn der vorhergehende gegeben ist. Unzweifelhaft dürften sich dann allgemeine mathematische Ausdrücke nicht allein für jeden Knochen, sondern auch für die zu einem kleineren oder grösseren System verbundenen herausstellen. Dafür bürgt uns nicht allein die immerhin noch ausserordentliche

Uebereinstimmung der Form der Knochen bei den verschiedensten Menschen, sondern noch mehr, dass trotz aller bestehenden Abweichungen dieser Formen, gewisse unwillkürliche Leistungen des Skelets von allen Menschen auf ganz ähnliche Art erzeugt werden, mit andern Worten, dass trotz der sichtbaren Abweichung der betheiligten Einzelkräfte doch immer dieselbe Resultirende zum Vorschein kommt, die wir mit dem trivialen Ausdruck, Gehen, Schwimmen, Sitzen u. s. w. bezeichnen. Diese auffallende Erscheinung einer gleichen Resultirenden bei abweichenden Componenten findet vielleicht darin ihre Erklärung, dass die constanten und wesentlichen Eigenschaften des Skelets zu tief liegen, als dass wir sie durch eine nur oberflächliche oder sog. anatomische Beobachtung sogleich herausfinden könnten. Diese Vermuthung gewinnt an Wahrscheinlichkeit, weil z. B. auch die Drehpunkte, die Achsen der Gelenke u. dgl. gar nicht als besonders wichtige Theile für das Auge ausgeprägt sind. Möglicher Weise gleichen sich aber auch durch jedesmalige Abweichungen nach entgegengesetzten Richtungen hin die Störungen aus, so dass wenn ein Knochen eine Form annimmt, welche dem Zustandekommen einer gewissen Resultirenden hinderlich ist, dieser hemmende Einfluss durch eine Abweichung aufgehoben wird, welche ein anderer Knochen nach entgegengesetzter Richtung erlangt.

Diese Untersuchungen, die allen Scharfsinn des theoretischen Mechanikers erfordern, würden die Osteologie aus dem traurigen Zustand heben, in den sie versunken ist. Die Resultate solcher Forschungen, zusammengehalten mit den Einflüssen, welche die Aussenwelt auf die Weichtheile und durch sie auf das Knochensystem übt, würden dann zu den höchsten Aufgaben der Morphologie führen, nemlich zu den Fragen über die Stellung des Skelets in der Reihe organischer Wesen. Schon jetzt erscheint es uns ohne alle tiefer eingehende Ueberlegung sinnvoll, dass ein Gebilde von dem spezifischen Gewicht des menschlichen Körpers als Stützpunkt seiner Bewegung den festen Boden benützt; dass die Masse des festen Körpers, wenn sie sich einmal auf zwei Beinen bewegt, in vorzugsweise senkrechter Richtung aufgethürmt wurde und zwar in einer Aufeinanderfolge und Vertheilung, welche dem Schwerpunkt der Gesammtmasse seine Lage annähernd in der Horizontalebene der Schenkelköpfe anweist. Voll innerer Nothwendigkeit erhebt sich von dem Rumpf in das vorzugsweise schallleitende, durchsichtige, geruchführende Medium der Kopf als Träger der Sinneswerkzeuge, durch seine Beweglichkeit zur Umschau befähigt.

Verbindungen der Knochen.

1. Ausser der Verbindung durch Nähte, welche meist so innig ist, dass sie nur den Gewalten nachgibt, welche stark genug sind um den Knochen zu zerbrechen, kommen zwei wesentlich verschiedene Arten von Gelenken vor, die man in der Anatomie als Synchondrosen und Artikulationen beschreibt. Die Synchondrose zeichnet sich der Form nach dadurch aus, dass in ihr die einander gegenüberstehenden Knochenenden durch steife Weichtheile, Knorpel und Bänder, verwachsen sind. Rücksichtlich der Bewegung ist sie dadurch charakterisirt, dass sie den Knochenstücken, welche sie verbindet, eine bestimmte Lagerung gegeneinander anweist, aus der sie nur durch einen

gewissen Kraftaufwand entfernt werden können. Die verbindenden Zwischenstücke sind nun von dem beweglichen Rippenknorpel durch die ligamenta intervertebralia hindurch bis zur symphysis sacroiliaca von einer sehr verschiedenen Festigkeit und Steifigkeit. Einzelne Synchondrosen sind endlich noch dadurch verwickelt, dass die einander zugekehrten Knochenflächen bis zu dem Grade uneben gestaltet sind, dass schon bei einer geringen Verbiegung des Knorpels die Knochen aneinanderstossen. Da die Verschiebung der synchondrisch verbundenen Knochenmasse aus ihrer Ruhelage nur in Folge von Verdrehung, Einknikung, Verkürzung und Verlängerung der elastischen Zwischenstücke geschen kann, so ergibt der Augenschein, dass die Beweglichkeit der Synchondrose [oder schärfer ausgedrückt, der Umfang ihrer Winkelbiegung im Verhältniss zur Grösse der bewegenden Kräfte] im Allgemeinen wächst mit der Länge und abnimmt mit der Vergrösserung des Querschnittes der verbindenden Masse. Bei der Mannigfaltigkeit in der Zusammensetzung des Bindestückes aus Knorpel, Fett und elastischem Bindegewebe, lässt sich jedoch keine vergleichende Bestimmung über die Beweglichkeit der einzelnen Synchondrosen geben.

Die Artikulation ist zu definiren als das Gelenk, welches zwischen zwei sich berührenden freien Knochenenden besteht; diese Gelenke haben noch ganz besondere Hilfswerkzeuge als Zugabe erhalten. Namentlich bestehen diese aus knorpeligen oder faserigen Ueberzügen der Gelenkflächen; aus Bandmassen, welche von einem Gelenkende zum andern überspringen, in die unter Umständen noch Spannmuskeln, Deckknochen, Bandbrücken und Fettpolster eingelagert sind; aus der schlüpfrigen, Reibung vermindernden Gelenkschmiere; endlich in der Luftleere der Gelenkhöhle, welche durch Ventile und Capselmembranen erhalten wird. — Der allgemeinen Form der Fläche nach kann man die Artikulationen eintheilen in solche, deren beide Flächen nach demselben Gesetz gebogen sind, wo dann beide immer Rotationsflächen sind; und in solche, deren beide Flächen nach einem verschiedenen Gesetze sich krümmen.

a. Gelenke mit Flächen von einem Krümmungsgesetz. Zu dieser Gruppe gehören die Kugel-, Kegel- und Säulengelenke u. s. w. Ihre Flächen stellen niemals den ganzen Umfang einer Kugel, einer Säule u. s. w., sondern immer nur ein Bruchstück derselben dar. Da von den zu einem Gelenk gehörigen Flächen die eine immer concav und die andere entsprechend convex gebogen ist, so sind beide ihrem grössten Theile nach in jeglicher Stellung des Gelenkes in Berührung.

Zur Beurtheilung der Richtung und Grösse der Bewegung dient: Die Bewegung geschieht bei dem Kugelgelenk um den Mittelpunkt der Kugel, bei den übrigen um die Achse der Rotationsfläche. Die Ausdehnung der Bewegung wird bestimmt durch die Zahl von Graden, welche das an dem einen der beiden Gelenkenden wirklich dargestellte Stück der

Rotationsfläche umspannt, durch das Vorhandensein oder Fehlen von Knochenvorsprüngen in der Gelenkumgebung, durch die Spannung oder Torsion der Gelenkbänder. Diese letzteren sind bei Kugel-, Kegel- und Säulengelenken verschiedentlich eingerichtet. Beim Kugelgelenk werden sie durch einfache Streifen dargestellt, welche jedesmal die einander grade gegenüberliegenden Punkte der Gelenkränder verbinden; diese Bänder genügen, um die Drehung nach allen möglichen Achsen zu hemmen welche über einen gewissen Umfang hinausgehen. Denn geschieht die Bewegung derartig, dass die Bandstreifen der einen Seite erschlafft werden, so müssen sich die der entgegengesetzten spannen; verschieben sich aber die in der Ruhe einander gegenüberliegenden Punkte der Gelenkränder, so werden alle Bandstreifen in einem gewissen Grad verdreht. — Das Säulengelenk, der reine Ginglymus der Anatomen, empfängt seine Hemmung durch Bänder, welche sich excentrisch in dem Kreise ansetzen, in welchem das Gelenk sich dreht, welche mit andern Worten ihren Ursprung an dem einen der Knochen nicht in, sondern neben der Gelenkachse finden; solche Bänder Fig. 94 sind aber nur dann bekanntlich im Minimum ihrer Spannung, wenn sich ihre Ansatzpunkte an den beiden Knochen A, B und der Einschnittspunkt der Gelenkachse auf die Knochenoberfläche C in einer geraden Linie befinden, und beide Ansatzpunkte zugleich auf derselben Seite der Gelenkachse liegen. — Die Hemmungsbänder des Kegelgelenkes Fig. 95 sind schief gegen die Achse AA gestellt; wenn wie meistentheils zwei in entgegengesetzten Richtungen verlaufende Bänder BB und CC vorhanden sind, so wird durch eine Bewegung aus der Stellung, in welcher beide Bänder in mittlerer Spannung liegen, das eine derselben (BB') an und das andre (CC') abgespannt werden. — Alle Gelenke erfahren zudem noch Beschränkungen durch Muskeln, Sehnen, Fettpolster u. s. w. —

Fig. 94.

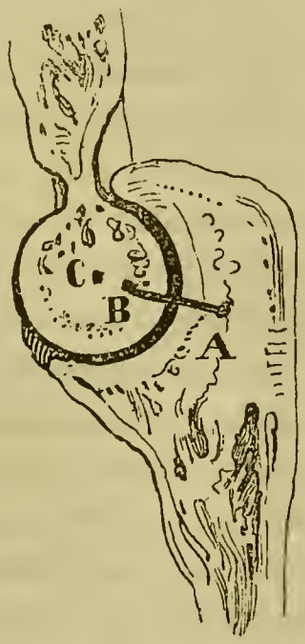
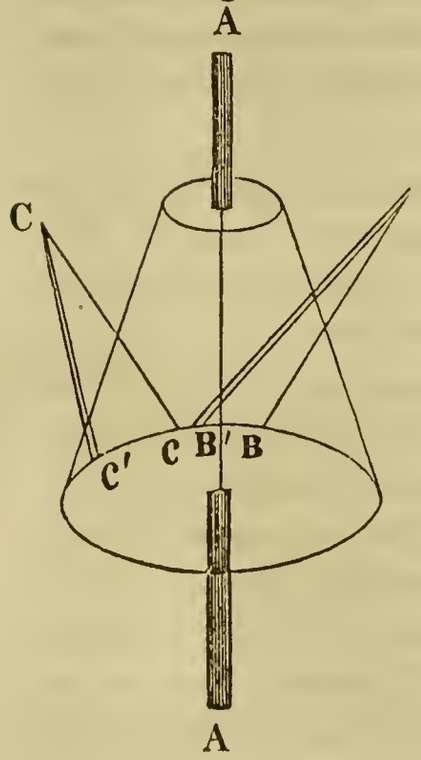


Fig. 95.



b. Den Gelenkenden, deren zugekehrte Flächen nach verschiedenen Gesetzen gebogen sind, kommt meist eine sehr complizirte Form zu, so dass sogar öfter ein jedes Ende Abschnitte ganz verschiedener Biegung trägt, die nicht auf ein und dieselbe Curve zurückführbar sind; oder es sind sogar die beiden Flächen nicht in unmittelbarer Berührung, indem sich zwischen

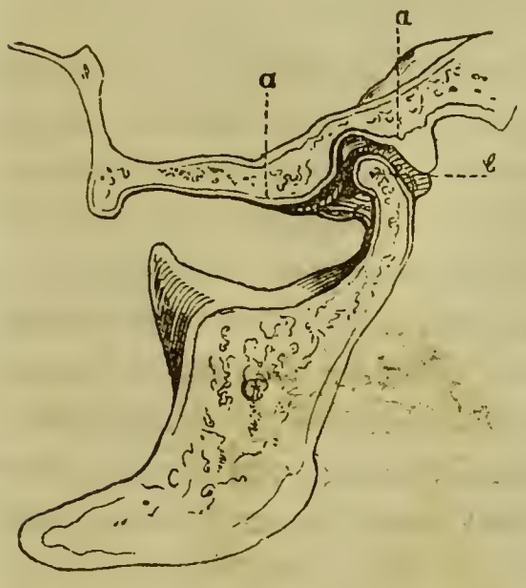
dieselben noch knorpelig elastische Massen, die Menisci, einfügen. Aus dieser Angabe folgt, dass die Zahl der Berührungspunkte beider Gelenkflächen je nach ihrer Stellung sehr wechseln muss. Ueber ihre Beweglichkeit lässt sich im Allgemeinen nichts aussagen.

2. Die folgende Betrachtung der Gelenke im Einzelnen soll durch ihre Lückenhaftigkeit zu neuen Untersuchungen auffordern.

Unterkiefergelenk.

Seine Schädelfläche *a a* stellt hinten eine Grube und vorn einen Höcker dar; die Fläche des Gelenkkopfes *b* ist wenigstens keinem Umdrehungskörper angehörig; auf dem Kopf schleift ein Meniscus der vorn und hinten *a*, *a* an der Schädelfläche, rechts und links an dem Gelenkkopfe befestigt ist. Das Gelenk ist in seinen zwei ihm zukommenden Stellungen verschieden beweglich.

Fig. 96.

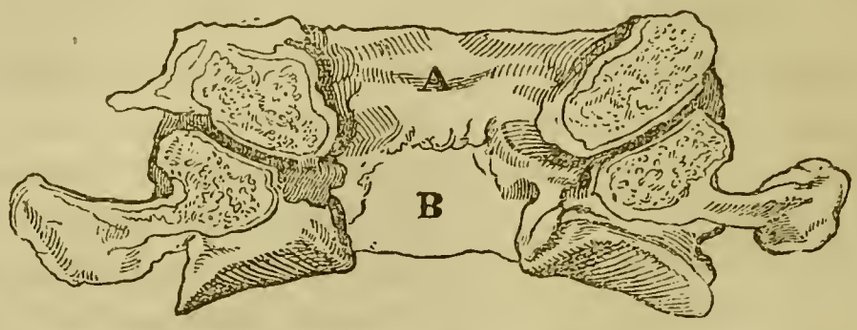


a. Der Kopf steht in der hintern Grube, der Meniscus klemmt sich fest zwischen tuberculum articulare und den Gelenkkopf, so dass er die vordere Wand der Gelenkfläche bildet; sein vorderes Verbindungsstück mit der Schläfenfläche ist stark genug gespannt, um sich bei der Bewegung des Gelenkkopfes nicht zu verrücken. Die Bewegung geschieht in dieser Stellung um eine Achse, die durch die längste Ausdehnung (von rechts nach links) des Gelenkkopfes geht, nach Art derjenigen eines Säulen- oder Cylindergelenks. Hemmungen für die Bewegungen geben die Zähne, das Gelenk der entgegengesetzten Seite, und die zwischen process. mastoideus und dem Unterkieferast eingeklemmten Theile ab. — b. Der Gelenkkopf steht auf dem tubercul. articulare, der Meniscus legt sich gegen die hintere Fläche des Kopfes, und ist durch seine hintere Verbindung mit der Schläfenfläche festgestellt; bei den Bewegungen folgt er dem Gelenkkopfe. Die Bewegung selbst geschieht durch Verrückung des ganzen Gelenkkopfs nach vorn oder nach aussen und nicht durch Abwicklung seiner Flächen indem die Achse um welche die Drehung geschieht durch das gespannte lig. laterale externum bestimmt ist; H. Meyer. Die Hemmung geschieht durch das ligamentum laterale extern., den Meniscus, die hintern Backenzähne und die mm. masseter und pterygoideus internus. — Durch allmäligen Uebergang beider Bewegungsweisen in einander entsteht der Anschein einer Rotation um eine auf die längste Ausdehnung des Kopfes senkrechte Achse. — Beide Kiefergelenke gehen entweder in ihrer Bewegung gleichzeitig und gleichstark, oder es

kann das eine festgestellt und das andere um dasselbe im Kreisbogen gezogen werden.

Gelenk zwischen Hinterhaupt und Atlas. Beide Gelenkenden schliesen genau auf einander; sie sind mit doppelter, ungleicher Krümmung versehen; die Krümmung von rechts nach links, (von welcher Fig. 97 den Durchschnitt gibt; *A* ist das occiput, *B* der Atlas) ist

Fig. 97.



mit einem grösseren Halbmesser beschrieben als die von vorn nach hinten gehende. Aus diesem Grunde sind in diesem Gelenke Bewegungen um zwei Achsen möglich von denen eine von vorn nach hinten und die andre von rechts nach links geht; die Bewegungen um eine senkrechte Achse, die Kopfverdrehung, kann dagegen nicht in ihm vorgenommen werden. — Die Ausdehnung der möglichen Bewegungen ist nicht unbeträchtlich, da die convexen Flächen des Hinterhauptes die concaven des Atlas um ein bedeutendes übertreffen. Als Hemmungen der Bewegung wirken, ausser den benachbarten Knochenvorsprüngen, ligam. obturatorium anterius et posterius und der apparat. ligamentosus.

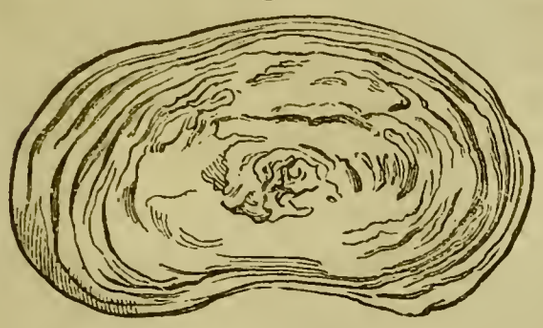
Gelenk zwischen Atlas und Epistropheus. — Zu ihm gehören an jedem Wirbel drei Flächen; und zwar zwei schwach schief ansteigende an den proc. obliqui und an dem Zahnfortsatz resp. am vordern Atlasbogen. H. Meyer glaubt diese Flächen auf Stücke eines Kegels mit concaver Erzeugungslinie zurückführen zu können, dessen Achse mitten durch den Zahn, parallel seiner grössten Länge geht. Um diese Achse geschieht auch die einzig mögliche Bewegung. Der Gang am Zahn ist durch das ligamentum transversum gesichert. Die Hemmung geschieht durch das ligamentum longitudinale anterius, die lig. alaria propria (zum Zahn) und accessoria (zum Epistropheuskörper) (H. Meyer) in der bei dem Kegelgelenk erwähnten Weise. — Die Ausdehnung der Bewegung ist unbekannt.

Gelenke zwischen den übrigen Wirbeln *). Von den mannigfachen Verbindungs- und Berührungsstücken der Wirbel soll zuerst die Synchondrose durch das lig. intervertebrale in Betracht gezogen werden. Diese Bänder bestehen an ihrer Peripherie aus ineinandergesteckten

*) E. H. Weber, Hildebrand's Anatomie II. Bd. p. 145 u. 161. — Ed. u. W. Weber, Mechanik der Gehwerkzeuge §. 42 u. f. — Ein Manuscript von H. Meyer. — E. H. Weber, Ueber den Bau des Seehundes. Leipziger Berichte II, 128.

fibrös-knorpeligen aufrecht gestellten Röhren; E. H. Weber. In den Räumen zwischen den einzelnen Röhren finden sich als Ausfüllungsmittel Fettmassen, die in Bindegewebe gehüllt sind. Im innersten Rohr, also im Centrum des Intervertebralbandes liegt ebenfalls ein aus Fett und Bindgewebe bestehender Inhalt, der Kern, eingeschlossen. Die Ansicht eines Durchschnittes senkrecht auf die Achse der Cylinder gewährt Fig. 98. Der Kern ist aber in dem innersten Rohre nicht blos locker eingelagert, sondern er findet sich in ihm in einem beträchtlich comprimirten Zustand, so dass er von der umgebenden Hülle befreit, einen grösseren Raum, als in der normalen Lage einnimmt. Diese Spannung des Kerns, der wahrscheinlich von endosmotischen Wirkungen herrührt, übt einen Druck auf seine Umgebungen, der wohl nach allen Richtungen hin mit gleicher Stärke geschieht, weil der Kern flüssige und halbflüssige Substanzen enthält.

Fig. 98.



Nächst dieser erhalten die lig. intervertrebralia eine weitere Spannung bei der aufrechten Stellung durch die Schwere der überliegenden Theile; dieselbe wird ungleich stark auf die hintere und vordere Seite des Intervertebralknorpels wirken, weil der gespannte nucleus als ein Hypomochlion angesehen werden muss, um welches sich die seitlichen Theile drehen, wenn ein einseitiger Druck auf sie fällt. H. Meyer glaubt behaupten zu dürfen unter Annahme eines gegen den Horizont senkrechten Druckes der auf die vordere Hälfte der oberen Fläche der Wirbelkörper fällt, dass die grösste Spannung in der Brustwirbelsäule an der hinteren Wand und in der Lendenwirbelsäule an der vorderen Wand gelegen sei, während in dem Uebergang einer zur andern Krümmung sie allseitig gleichstark bestehe. Ausser diesen allgemeingiltigen Verhältnissen zeigen die einzelnen Intervertebralbänder bekanntlich noch Verschiedenheiten rücksichtlich ihrer Dimensionen, die von Ed. Weber genauer bestimmt sind. Nach Ed. Weber wächst der Diameter der Querschnitte, die er annähernd als Kreise betrachtet von dem obersten Halsknorpel bis zum vorletzten Lendenknorpel von 14,7 bis 29,5 M. M. Die aus diesen Bestimmungen fliessende Berechnung des Flächeninhalts darf nur annähernd als richtig betrachtet werden, weil in der That die Querschnitte keine Kreise, sondern am Hals und Lendenwirbelsäule eine elliptisch, an der Rükkenwirbelsäule eine herzförmig begrenzte Fläche darstellen. — Die Höhe der Knorpel nimmt in dem von Weber gemessenen Fall vom obersten bis zum untersten Intervertebralknorpel mit mancherlei Sprüngen von 2,7 bis 10,9 M. M. zu. — Aus diesen Thatsachen scheint der Schluss erlaubt, dass die Intervertebralknorpel der Hals-

wirbel durch dasselbe Gewicht beträchtlicher gedreht und geknickt werden können, als die der Lendenwirbel und diese beträchtlicher als die der Brustwirbel.

Ed. Weber hat, um die Vorstellung über die Beweglichkeit der Wirbelsäule, insofern sie von den Intervertebralknorpeln abhängt, noch schärfer zu fassen, sämmtliche Knorpel der Halswirbelsäule und ebenso die des Rücken- und die des Lendentheils zu einem einzigen addirt. Indem er jedes dieser drei Stücke als Cylinder von gleichartiger Struktur und gleichen accessorischen Spannungen betrachtete, und annahm, dass eine sie beugende Kraft parallel der Achse dieses Cylinders wirke, fand er, dass für gleiche Kräfte der Beugungswinkel der Hals-, Brust- und Lendensäule sich verhalten würde nahe wie 846 : 297 : 298. Selbstverständlich sind diese Zahlen kein Ausdruck für das Verhältniss der Beweglichkeit an den zugehörigen Wirbelsäulestücken.

Die ligamenta longitudinale anterius und posterius, welche die hintere und vordere Fläche der Wirbelkörper überziehen sind als Verstärkungen der ligamenta intervertebralia anzusehen und zu beurtheilen. Das ligamentum flavum, das sich bekanntlich zwischen die Bogen legt, ist als eine Verstärkung des ligam. long. posterius zu betrachten, welche an einem längern Hebelarm wirkt.

Die Bewegung der Wirbelsäule würde, wenn sie nur von den Intervertebralknorpeln abhängig wäre, an allen Orten ungefähr mit gleicher Leichtigkeit nach allen Richtungen hin geschehen; die einzige Ungleichheit, die hier vorkommmen könnte, würde bedingt sein durch die bald mehr hinten, bald mehr vorn gesteigerte Spannung der Wandungen, und durch das Gegenübertreten des steifen Brustbeins und der Brustwirbel. Da nun aber in der That an verschiedenen Stellen der Wirbelsäule die Bewegung mit ungleicher Leichtigkeit nach verschiedenen Richtungen hin stattfindet, so müssen sich noch andere Beschränkungen finden. Diese letzteren liegen in den Gelenkflächen der schiefen Fortsätze, welche ausser dieser Bestimmung auch noch darum von Bedeutung sind, weil sie als steife Körper die Intervertebralknorpel vor einer Zusammenpressung durch das Körpergewicht schützen. Um eine Vorstellung von der Gelenkfläche zu erhalten, schneiden wir dieselbe nach drei aufeinander senkrechten Richtungen. Ein Schnitt geführt parallel mit der Längenachse der Wirbelsäule von vorn nach hinten, ergibt, dass in den oberen Halswirbeln, Fig. 99, die Gelenkfläche *AA* einen sehr kleinen Winkel mit dem Horizont bildet, während ein gleicher durch die Lendenwirbel,

Fig. 99.

Fig. 100.

Fig. 100, ein sehr steiles Abfallen der Gelenkfläche darlegt. Demnach wird in den Halswirbeln die Beugung und Streckung durch die schiefen Fortsätze keine Hemmung erfahren, während sie in den Lendenwirbeln wohl nur möglich ist, wenn die beiden Gelenkflächen sich in irgend welchem Umfang von einander abheben. — Ein Durchschnitt parallel mit der Wirbelsäule von rechts nach links, zeigt dass die Halswirbel, Fig. 101, mit Leichtigkeit in dieser Ebene bewegt werden können, da die den beiden Gelenken angehörigen Flächen, annähernd wenigstens einem und demselben Kreisbogen angehören. In der Lendenwirbelsäule (Fig. 102.) ist dagegen die Bewegung nur möglich, wenn sich während derselben die Flächen von einander heben, da die den beiden schiefen Fortsätzen angehörigen Gelenkflächen einander parallel laufen. — Zur Drehung um eine Längsachse sind, wie die Durchschnitte 103. 104. 105 lehren, nur Hals- und Rückenwirbel befähigt,

Fig. 101.

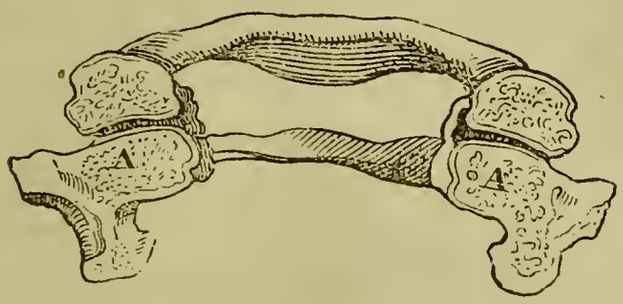
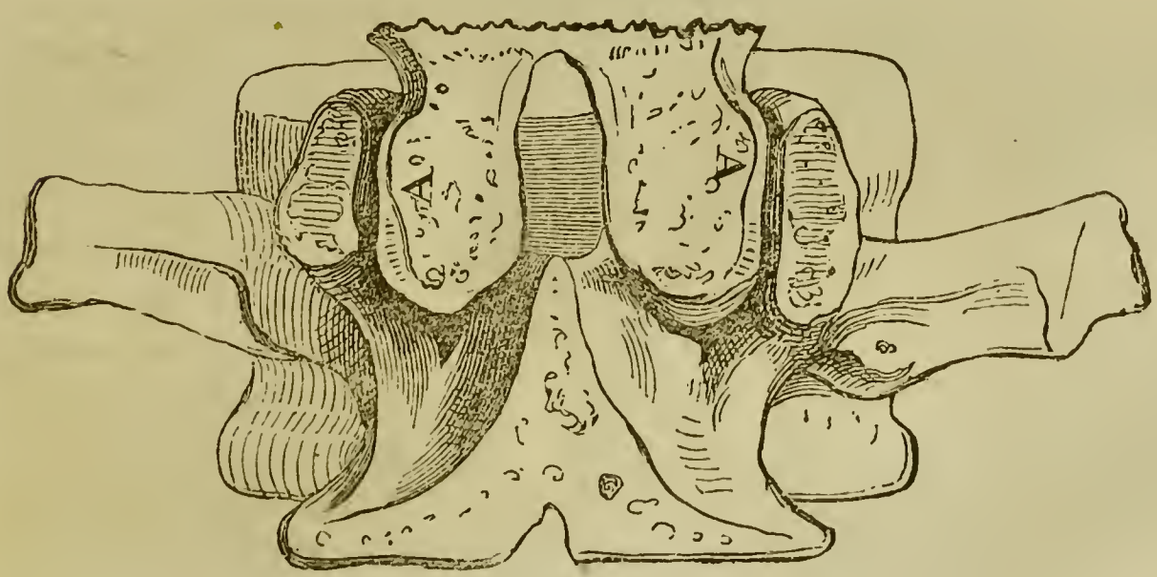


Fig. 102.



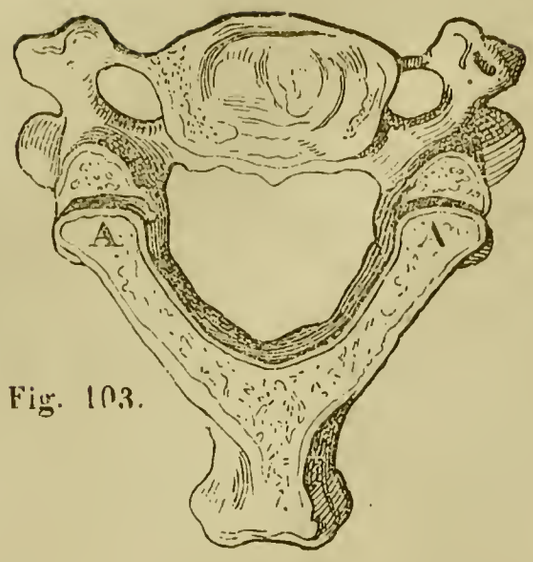


Fig. 103.

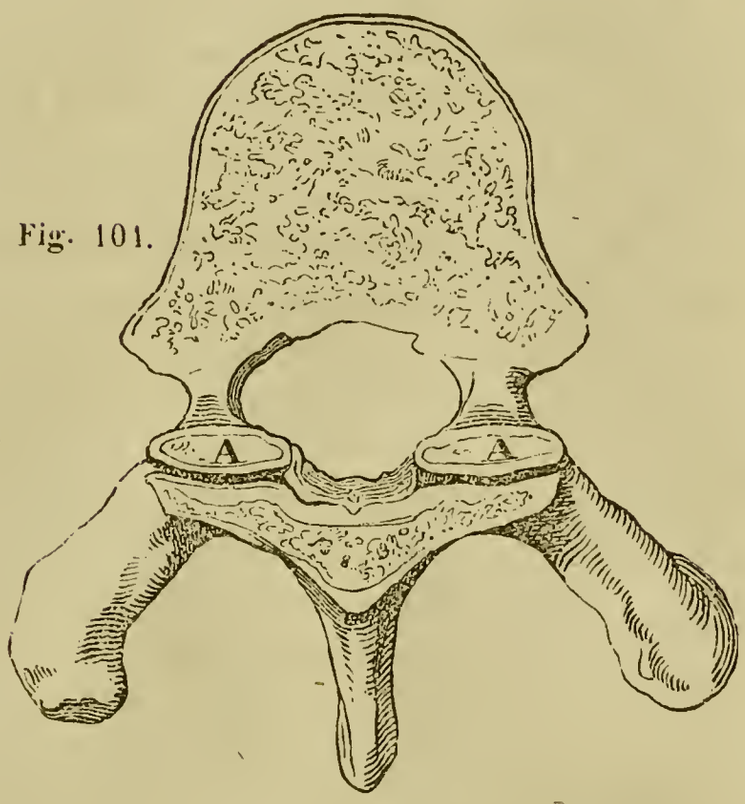


Fig. 101.

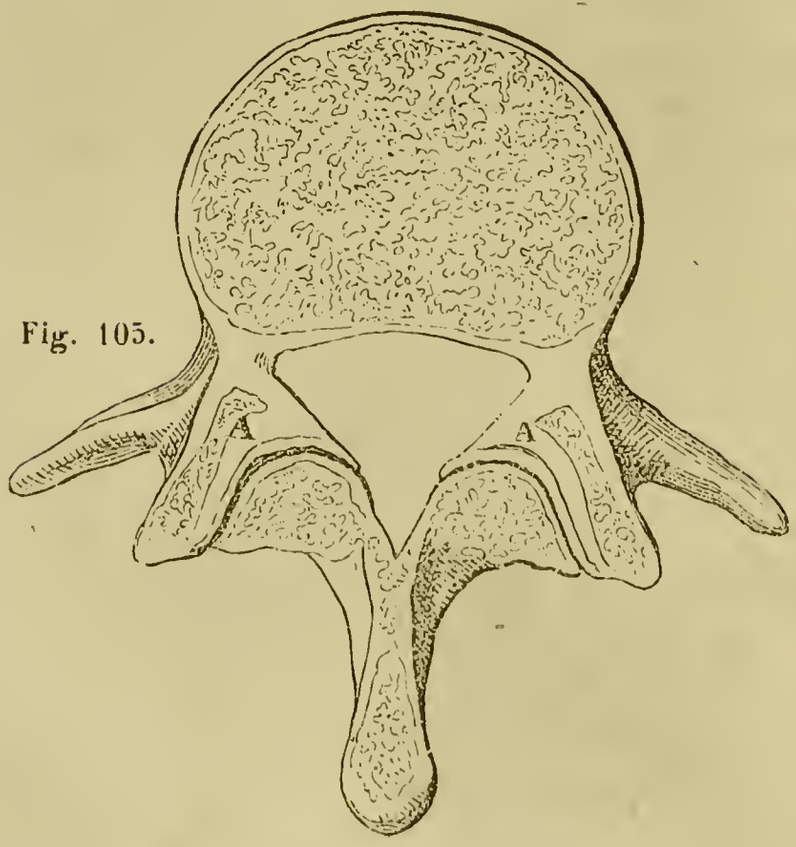


Fig. 105.

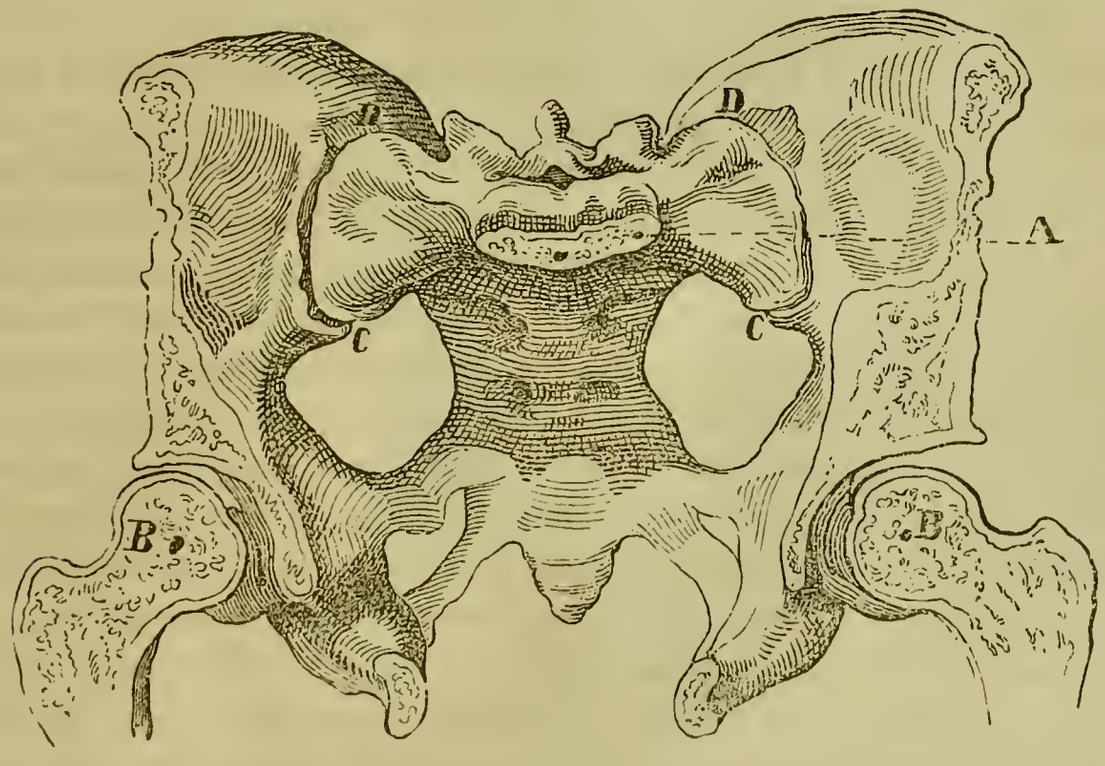
denn nur bei diesen (103. 104), gehört die Durchschnitts-Linie beider Flächen A, A demselben Kreise an, während die beiden Gelenkfortsätze in der Lendenwirbel-Säule, wie die Zähne eines Zahnrades gestellt sind und somit gradezu jede Drehung in der Horizontal-Ebene hemmen; E. H. Weber. Die Drehungen der Hals- und Brustwirbel unterscheiden sich voneinander dadurch, dass der Drehungsmittelpunkt der ersteren gegen die Dorsalfortsätze, der der letzteren gegen die Wirbelkörper gelegen ist. —

Nach E. H. u. Ed. Weber, welche über die Beweglichkeit der Wirbelsäule Beobachtungen angestellt haben, kann die Halswirbelsäule nach allen Richtungen sich biegen und drehen; der Brustwirbelsäule fehlt das Vermögen der Beugung und Streckung, während die Lendenwirbelsäule sich nicht um ihre Längeachse drehen kann; dagegen vermag sie sich rechts, links, vorwärts und rückwärts zu beugen. Diese letzten beiden Bewegungen kann sie aber in grösster Ausdehnung an ihren Grenzen gegen die Brustwirbel und das Kreuzbein ausführen. — Der Winkel, welchen der

Kopf von vorn nach hinten zu umschreiben im Stande ist, vorausgesetzt, dass er sich nur auf den kleinen Gelenken und der Halswirbelsäule bewegt, beträgt nach Ed. Weber in Mittel 161°, während der Beugungswinkel der Lendenwirbelsäule nur 84° umgreift. —

Symphyses sacroiliacae und ossium pubis. Da diese drei Synchondrosen von annähernd gleicher Festigkeit sind und an demselben Ringe sitzen, so geschieht ihre Bewegung immer gleichzeitig; bei dem grossen Widerstande, welchen die breiten und kurzen Knorpelmassen einer jeglichen Verbiegung entgegensetzen, gehören sehr beträchtliche Kräfte dazu, um eine merkliche Bewegung in den durch sie vereinigten Knochen zu veranlassen. Diese tritt u. A. ein, wenn zu der des Rumpfs, noch andere grosse Lasten an die Wirbelsäule gehängt werden. Da die Erläuterung dieses Falles, welche H. Meyer gegeben hat, genügt, um eine Einsicht in den Mechanismus der Bewegung zu gewinnen, so werden wir uns auf die Zergliederung desselben beschränken. Wir setzen die Bedingung, dass eine zum Horizont senkrecht gerichtete Last die schief abgestutzte Kreuzbeinfläche treffe, und dass die Schwerlinie, (ein vom Schwerpunkt der Last gegen den Boden gefälltes Perpendikel) unterstützt sei von der Verbindungslinie zwischen den Mittelpunkten der Schenkelköpfe. Zur Versinnlichung des Hergangs, insbesondere der an der Kreuzdarmbeinsynchondrose eintretenden Bewegung soll die Fig. 106 dienen; sie stellt einen Durchschnitt durch das

Fig. 106.



Becken dar, welcher durch den Berührungspunkt der Schwerlinie und der Kreuzbeinfläche *A*, und die Drehpunkte der beiden Schenkelköpfe *BB* bestimmt ist. Der senkrechte Druck, welcher auf die schiefe Kreuzbeinfläche fällt, wird dieselbe nach unten und hinten drücken; der ersten dieser Druckrichtungen wird Folge gegeben werden können, da das

Kreuzbein nach Art eines Keils mit nach oben sehender Spitze zwischen dem Darmbein ruht *CC*, *DD*. Entsteht aber in der That eine Bewegung, so werden die obern Theile des Darmbeins, welche noch besonders durch Bandmassen an dem Kreuzbein hängen, zugleich mit nach unten gezogen, so dass sich die Schambeinfuge namentlich ihr arcus pubis entsprechend spannt. Diese Spannung der Symphyse wird dann nach Entfernung des Druckes dem Darmbein wieder behilflich sein zur Annahme seiner alten Stellung. Durch die zweite Druckwirkung, nach hinten, wird das Kreuzbein aber nur an das Darmbein gepresst, da der Knochenbau keine Bewegung erlaubt.

Rippengelenke. Die Rippe ist bekanntlich dreimal an relativ festen Flächen angelehnt. Zuerst an die Wirbelkörper; die Krümmung nach der die Flächen dieses Gelenkes gebogen, ist nicht genauer bestimmt; jedenfalls ist hier nur geringe Verschiebung möglich, theils wegen der ligam. capituli radiatum, posterius und colli costae, theils wegen des ligam. interarticulare, welches bekanntlich nach Art eines Meniscus die Gelenkhöhle in 2 Abtheilungen bringt. — An der zweiten Anlehnung in welcher die Rippe an den processus transversus liegt, gehen zwei scheinbar ebene Flächen aufeinander; auch hier ist die Beweglichkeit sehr untergeordnet; es kann wegen des ligam. costae transversarium und wegen der gegenseitigen Lage von Rippe und Querfortsatz eine nur geringe Erhebung und Senkung geschehen, welche zudem noch durch das ligam. colli costae gehemmt ist. — Beide Gelenkflächen am Wirbelkörper und Querfortsatz könnte man als zu einer Kegelfläche gehörig ansehen, und von diesem Gesichtspunkt aus die Bewegungen der Rippe construiren, wenn sie nicht nach vorn durch den Rippenknorpel an das Brustbein geheftet wäre. Wegen dieser drei, nicht in einer geraden Linie liegenden Befestigungspunkte kann sich aber die Rippe, wie Helmholtz zuerst hervorgehoben, nur durch Verbiegungen in ihrer Masse, durch Veränderung ihrer Gestalt bewegen. Die Beweglichkeit der Rippe wird demgemäss abhängen von der Biegsamkeit der Knochen und Knorpelsubstanz aus der sie besteht. Da diese Massen aber immer einen merklichen Steifigkeitsgrad zeigen, und an den drei erwähnten Punkten festgestellt sind, so wird die Rippe eine stabile Gleichgewichtslage besitzen, in die sie immer zurückzukehren strebt, wenn man sie nach oben oder unten daraus entfernt hat.

Brust-Schlüsselbeingelenk. Die Gelenkfläche des Sternums ist in der Richtung von hinten zu vorn convex nach oben gebogen, Fig. 107 *A*; von innen zu aussen ist sie concav nach oben Fig. 108 *A*. Die Krümmungsgesetze beider Flächen sind unbekannt. Die Krümmung des Schlüsselbeinkopfes von hinten zu vorn, entfernt sich wenigstens nicht allzusehr von einer Kreislinie Fig. 107 *B*; auch im Durchschnitt des Kopfes von rechts zu links Fig. 108 *B* bietet sich am obern innern Theil eine sehr schwache, am äussern untern Theil

Fig. 107.

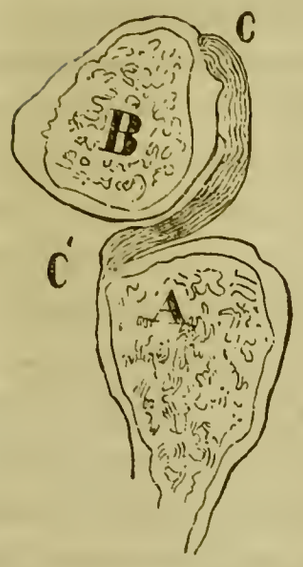
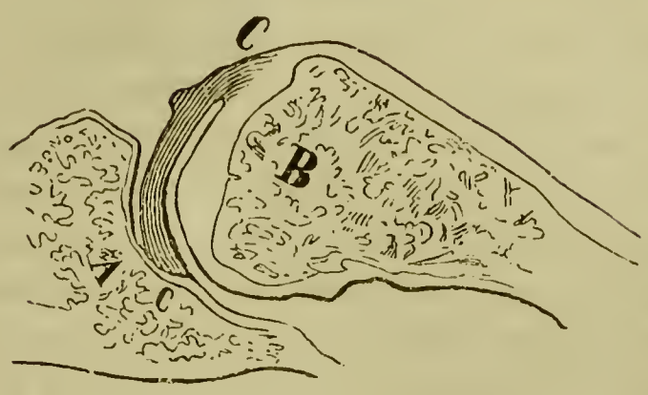


Fig. 108.



eine starke Krümmung, die vielleicht einem Kreis angehört. Zwischen beiden Gelenkflächen ist ein starker Meniscus eingeschoben, der vorn und innen vorzüglich an dem Schlüsselbeinkopf, aussen und hinten aber an der Sternalfläche liegt; somit erscheint er auf jedem der beiden dargestellten Schnitte *CC*. — Der letztern Biegung entsprechend kann der Schlüsselbeinkopf von hinten nach vorn rollen, um eine Achse, welche im Allgemeinen durch ihn horizontal in der Richtung von vorn nach hinten geht; diese Bewegung hebt und senkt das Schlüsselbein; Beschränkungen erleidet sie durch das Aufrollen des Meniscus, das ligam. interclaviculare, costoclaviculare und die erste Rippe. — Die andere dem Schlüsselbein zukommende Bewegung, bei welcher sein Körper von hinten nach vorn tritt, ist weniger klar; es lässt sich über dieselbe ohne eine genauere noch fehlende Untersuchung nur aussagen, dass die Bewegung gehemmmt werde durch das lig. coraco-clavicularia und den meniscus. Dieses wichtige und complizirte Gelenk verdient vor allem eine gründliche Untersuchung.

Schulterblatt-Schlüsselbeingelenk. Um dieses schmale Gelenk sind verschiedene Verbiegungen des Schulterblatts zulässig; zuerst ein Vor- und Rückwärtsrücken desselben. Diese Bewegung wird gehemmt durch einen starken Sehnenstreifen, der von der Mitte des Schlüsselbeins zum proc. coracoideus tritt, welcher sich anspannt, wenn das Schulterblatt nach hinten geht. Diese Bewegung addirt sich zu der entsprechenden des Schlüsselbeins am Sternum. Eine zweite Bewegung führt das Schulterblatt um eine Achse aus, welche von dem untern Winkel desselben gegen dieses Gelenk zu ziehen ist. Diese Bewegung, bei welcher sich der untere Schulterblattwinkel von der Rippe abhebt, wird durch einen Bandstreifen gehemmt, der auf der hintern Rumpffläche von innen nach aussen, von den Rippen zum Schulterblatt läuft.

Achselgelenk. Der Mittelpunkt, um welchen die kugeligen Gelenkflächen beschrieben sind, liegt im Oberarmbein ungefähr in glei-

cher Höhe mit dem tuberculum majus. Die beiden Flächen am Schulterblatt und Oberarmbein, welche aufeinander gehen, sind ungleich gross; die kleine gehört dem Schulterblatt an. Denkt man sich diese letztere auf eine Ebene projizirt, so stellt sie ungefähr ein Dreieck dar, dessen Höhe (von oben nach unten laufend) die Breite beträchtlich überwiegt; die obere Spitze dieses Dreiecks kommt nach der Schulterhöhe hin zu stehen. Hemmungen der Bewegung geben ab das acromion, der proc. coracoideus, ligam. caraco-acromiale und die an das Gelenk verlaufenden Muskeln. Da auch dieses Gelenk luftleer ist, so wird die Fläche durch den Luftdruck zusammengepresst. Da aber die Ausdehnung dieser Flächen noch nicht ermittelt ist, und ebensowenig das mittlere Gewicht des Arms, so lässt sich nicht angeben, in welchem Verhältniss das Gewicht der drückenden Luftsäule und dasjenige des Arms zueinander stehen. Aus der chirurgischen Erfahrung, dass nach Lähmungen der Oberarmmuskulatur Verrenkung des Gelenks erfolgt (Baum), scheint hervorzugehen, dass der Luftdruck den Arm nicht allein trägt.

Ellenbogengelenk. Das Ulnargelenk läuft auf einem zur Sicherung des einseitigen Ganges von rechts nach links ausgebogenen Cylinder; die Achse des Gelenkes geht durch die beiden Condylen, und berührt namentlich deren Flächen an dem Ansatzpunkt der ligamenta lateralia. Die Berührung der beiden Gelenkflächen wird nächst dem Luftdruck durch die ligamenta lateralia bewerkstelligt; Hemmungen geben die processus conoideus und anconaeus.

Fig. 109.

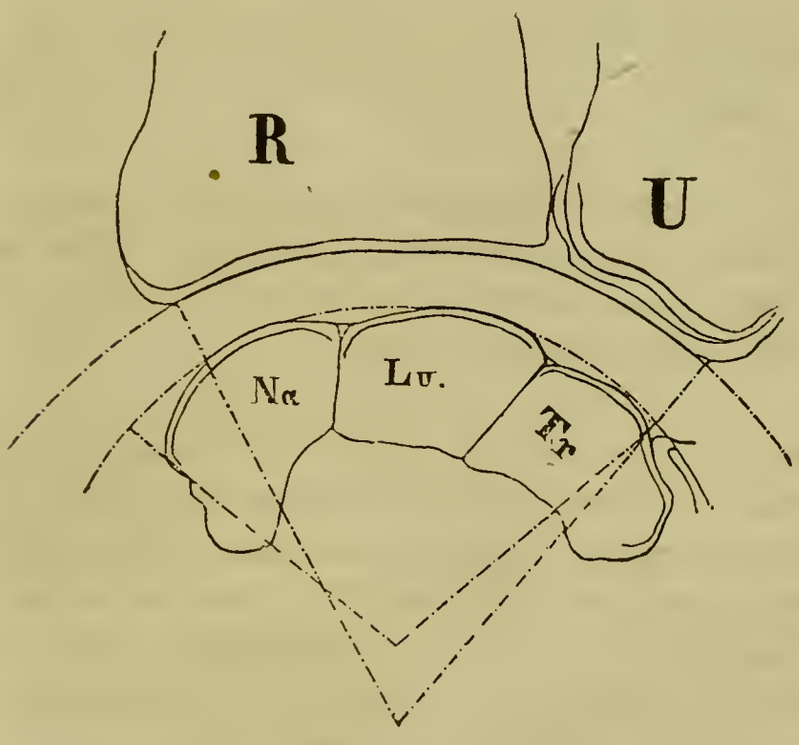
Das Radialgelenk ist ein flaches Kugelsegment; sein Drehpunkt fällt in die Achse des Ulnargelenkes; es ist darum im Stande den Bewegungen desselben zu folgen. Ausser dieser ist ihm nur noch eine andere Drehung um die Supinationsachse möglich; die Bewegung nach der dritten Richtung gegen die Mittellinie des Arms ist ihm wegen der Einspannung des Radius an der Ulna versagt.

Supinations- und Pronations-Gelenke. Sie werden durch vier zueinandergehörige Gelenkflächen dargestellt: zwischen der superficies capitata humeri und dem radius; dem capitulum radii und fossa sigmoidea minor ulnae; dem capitulum ulnae und der incisura semilunaris radii; dem capitulum ulnae und der cartilago triquetra. — Die gemeinsame Achse Fig. 109 *I. II*, um welche die Drehung erfolgt, ist eine Linie, welche aus dem Mittelpunkt der superficies capitata humeri gegen den Anheftungspunkt der cartilago triquetra am process. sty-

loideus ulnae verlaufend gedacht werden muss. Um diese Achse ragen zur Sicherung des Ganges auf entgegengesetzten Seiten zwei Cylinderflächen am obern Ende des Radius und am untern der Ulna hervor; von diesen ist die zwischen fossa sigmoidea ulnae und capitulum radii gelegene noch durch das ligam. annulare regulirt. — Gehemmt wird die Bewegung durch die chorda transversalis und den processus styloideus ulnae. — Damit die Bewegung geschehen kann, muss begreiflich die Hand vor dem radius eine andere Beweglichkeit besitzen als vor der ulna, oder es muss bei der einmal gegebenen Einrichtung die am Radius befestigte Hand an der Ulna sich drehen können. Diese Bedingung ist durch das Gelenk zwischen cart. triquetra und ulna verwirklicht. —

Vorderarm-Handwurzelgelenk*). Erstes Handgelenk. Dieses Gelenk ist nach zwei Richtungen gebogen; von der vola zum dorsum und von dem Ulnarrand zum Radialrand. a) Die Biegung von rechts nach links, Fig. 110.**) Am Vorderarm, wo die Fläche durch den Radius und die cart. triquetra dargestellt wird, geht die Krümmung nach einer Kreislinie; das vorhandene Stück derselben umspannt gegen 69°. Die andere von dem oss. naviculare lunatum und triquetrum dargestellte Fläche weicht in ihrer Biegung beträchtlich von einem Kreisbogen ab, namentlich gegen das os naviculare hin. Der Bogen, der am annäherndsten für sie gilt, umspannt 110°. Der Halbmesser desselben verhält sich zu demjenigen, welcher den Bogen am Vorderarm bestimmt = 13 : 18,5. Ueber Bogenbestimmungen für die Krümmung der einzelnen Knochen siehe in der vergleichsweise ausgezeichneten Abhandlung von Günther.

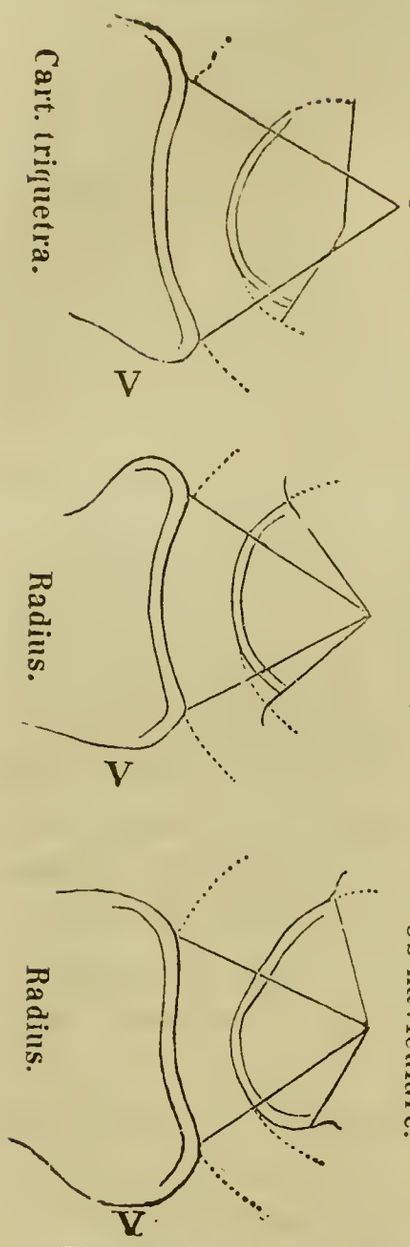
Fig. 110.



b) Die Biegung vom Rücken zur Hohlhand. Fig. 111. *V* bedeutet vola**). Die Fläche am Radius und der Cartilago triquetra ist auch in dieser Richtung nach einer Kreislinie gebogen. Der Halbmesser des Kreises am Radius ist kleiner als der an dem Cartilago tri-

*) Günther, das Handgelenk. 1841.
**) Günther l. c. Taf. V. Fig. 4.
***) Günther l. c. Taf. VI.

Fig. 111.

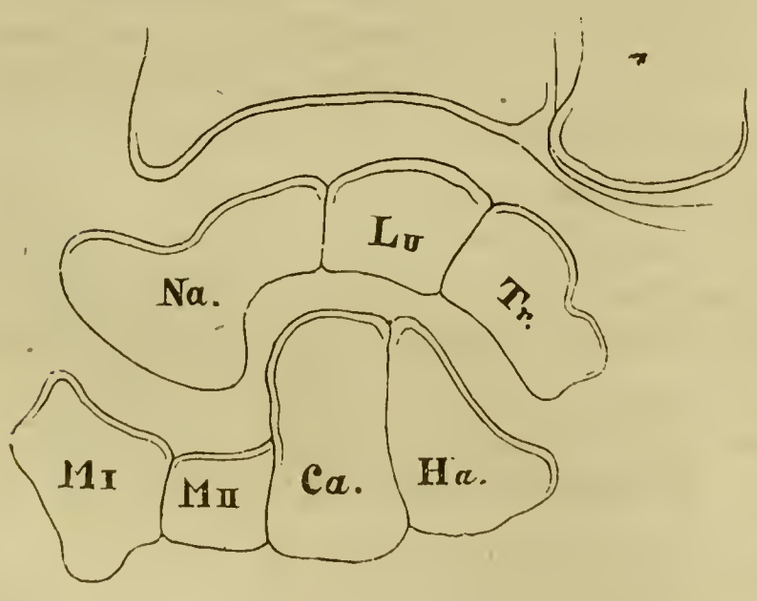


quetra. Sie verhalten sich zu einander wie 8 : 9,5. Die Bogengrade, welche die Kreise umspannen, sind vom Radialrand gegen den Ulnarrand im Wachsen begriffen, sie steigen von 58° bis 68°; der Halbmesser dieser Krümmung verhält sich zu dem in der andern Richtung wie 8 und 9,5 : 18,5. — Die Krümmung an dem Handwurzelknochen folgt dagegen einem andern Gesetz. Gegen den Rücken schliesst sie sich wohl ziemlich annähernd einem Kreisbogen an, gegen die Hohlhand fällt sie dagegen scharf nach innen. Der Halbmesser des Bogens, welcher am meisten der Biegung sich annähert, ist am os triquetrum kleiner als am naviculare und lunatum; er verhält sich zu diesem wie $4\frac{1}{2} : 5\frac{1}{2}$. Die Gradzahl dieser Bogen wächst vom os triquetrum gegen os naviculare, gerade umgekehrt wie an der Armfläche, von 108° bis 130°.

Diesen Biegungen gemäss kann das erste Handgelenk eine Beugung von der Ulnar- zur Radialseite, und eine zweite von der Rücken- zur Hohlfläche ausführen.

Handwurzel-Handwurzelgelenk. Zweites Handgelenk. Dieses sehr eigenthümliche Gelenk bedarf vorzugsweise noch der genaueren Analyse. a) Die Biegung, die dasselbe vom Ulnar- gegen den Radialrand zeigt, ist in Fig. 112*) dargestellt. Der am os multangulum majus (M I) und minus (M II) vorhandene Durchschnitt ist annähernd nach einer Kreislinie gebogen und ebenso der ihnen zugekehrte Schnitt des os naviculare; — os capitatum scheint ebenfalls nach einem Kreis gebogen zu sein (*Ca*); dass in einem solchen Gelenk keine einfache Seitwärtsbewegung der Hand möglich, leuchtet

Fig. 112.



*) Günther l. c. Taf. VII.

von selbst ein. b) Die Biegung von dem Handrücken zur Hohlhand gestaltet sich an jedem Knochen verschieden. Im Allgemeinen nähern sich die an der ersten Reihe der Handwurzelknochen gelegenen Schnitte einer Kreiskrümmung, die aber mit sehr verschiedenen Halbmessern gezogen sind, und eine ungleiche Zahl von Graden umspannen. Das Genauere siehe bei Günther. Die Biegungen am os naviculare, welche den multangulis gegenüberstehen, ragen mit der convexen Fläche in das Gelenk, stellen also einen sogenannten Kopf vor, während diejenige des os naviculare, welche gegen os capitatum ragt, und diejenige des os lunatum und os triquetrum Gelenkgruben sind. — Viel unregelmässiger sind die der zweiten Handwurzelreihe angehörigen Gelenkflächen gebogen. Ihr Gesetz ist vorerst unklar.

Die Bewegungen, welche im Gelenke ausführbar sind, geschehen wahrscheinlich um einen in dem Kopf des os capitatum gelegenen Mittelpunkt; wegen seiner Verbindung mit den übrigen ist aber nur eine Bewegungsrichtung möglich, welche durch die auf der Rückenfläche des os naviculare liegende Gelenkfläche vorgezeichnet ist, eine Dorsal- und Radialflexion.

Handbewegung. Die Bewegungen im Handgelenk sind bekanntlich nach zwei Richtungen nach der Fläche und den Rändern der Hand möglich. Die Bewegung nach den Rändern vertheilt sich nach Versuchen von Günther auf die beiden Handgelenke in der Art, dass eine geringere Beugung nach der Radialseite im ersten, dagegen eine stärkere nach dieser Seite im zweiten Gelenk ausgeführt werden kann, und umgekehrt eine stärkere Beugung nach der Ulna im ersten Gelenk und eine schwache Beugung nach dieser Seite im zweiten Gelenk ausführbar ist.

Auch die Bewegungen in der Fläche vertheilen sich ähnlich auf beide Gelenke. Aus der mittleren Lage kann die Hand nur durch das erste Gelenk in die Flexion (Volarflexion) gebracht werden; in die Streckung dagegen kommt sie nur bis zu sehr unbedeutendem Grade durch das erste, vorzüglich aber durch das zweite Gelenk. — Ausser diesen wichtigsten Bewegungen können auch noch pronirende und supimirende in den beiden Gelenken auftreten. Günther.

Die Bänder sind noch keiner übersichtlichen, die Funktion scharf treffenden Darstellung fähig.

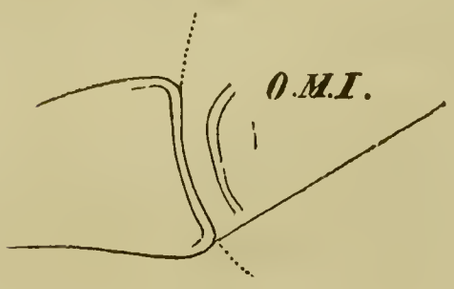
Die Gelenkflächen, welche die einzelnen Handwurzelknochen einander zukehren, sind mit Rücksicht auf ihre physiologische Bedeutung noch zu wenig untersucht. Bemerkenswerth ist nur, dass die der Knochen erster Reihe sehr locker zusammenhaften, so dass sie ihre gegen die zweite Reihe gekehrten Bogen beträchtlich abzuflachen vermögen, wodurch ein ganz besonderes Gelenk zum Vorschein kommt.

Das Gelenk zwischen os triquetrum und pisiforme ist ein allseitig sehr freies; es ist bekanntlich nur zur Führung eines Muskelansatzpunktes von Bedeutung.

Handwurzel-Mittelhandgelenke.

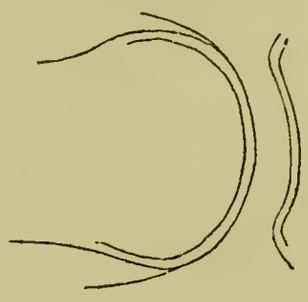
A. Das Mittelhandgelenk des Daumens ist nach zwei Richtungen gebogen; vom Rücken zur Vola ist das os multangulum O. M. I. Fig. 113. an der Fingerseite convex nach einem noch unbekannten Gesetz gekrümmt, der Daumenknochen aber nach einem Kreis. Günther. Von dem Radial- zum Ulnarrand ist die Fingerseite des os multangulum concav nach einem Kreise gekrümmt, und der Daumenknochen entsprechend convex. Fig. 114. Die Radien der Daumenkrümmung sind, abgesehen davon, dass die Mittelpunkte der Kreise, zu denen sie gehören, nach entgegengesetzten Richtungen liegen, verschieden; der Halbmesser des Kreises von der Vola zum dorsum verhält sich zu den andern = 7 : 5,5. Günther. Das Gelenk erlaubt also Beugung und Streckung, Ab- und Adduktion, aber keine Drehung.

Fig. 113.



Vola.

Fig. 114.



Radialrand.

Die Bänder, welche die Bewegung beschränken, gehen vorzugsweise von der Rücken- und Hohlfläche des os multangulum schief gegen den Rand und namentlich die hervorragenden Punkte des Daumenknochens. Sie spannen sich beim Abrollen der Gelenkfläche, da sie in keinem Fall im Mittelpunkt einer Kreisfläche liegen.

B. Die Mittelhandgelenke der Finger sind genau nach demselben Prinzip eingerichtet. Einer bemerkenswerthen Beweglichkeit erfreut sich aber nur das Mittelhandgelenk des kleinen und des Ringfingers; Mittel- und Zeigefinger sind in der Mittelhand ziemlich unbeweglich. Für diese letztern Mittelhandknochen ist es darum bedeutend, dass gerade ihre Basaltheile (die Handwurzelknochen) überall von Spalten, die sich bis zum nächsten sehr beweglichen Theil erstrecken, umgeben sind.

Die Metacarpal-Carpalgelenke bedingen vorzugsweise die Wölbung der Hand von rechts nach links; doch sind sie nach Günther nicht die einzigen Handwölber; auch die erste Reihe der Handwurzelknochen gehört zu ihnen. Ein Blick auf die Volarseite derselben und namentlich ihrer Berührungsflächen, sowohl untereinander als mit der zweiten Handwurzelreihe, zeigt, dass ihnen eine solche Bewegung möglich sein muss.

Metacarpal-Phalangengelenke. Die ersten Phalangen der Finger sitzen mittelst einer Hohlkugel auf dem kugeligen Kopfe der

Mittelhandknochen. Der Drehungsmittelpunkt liegt demnach in den letzteren. Trotzdem sind die Bewegungen sehr beschränkt; Drehung um eine durch die Längenrichtung der Finger gelegte Achse ist unmöglich, und bei einem beträchtlichen Grad der Beugung hört, wie H. Meyer zuerst bemerkte, auch das Vermögen der Ab- und Adduktion auf. Der Grund dieser Hemmungen ist in den Lateralbändern zu suchen, welche, ausserhalb des Drehungsmittelpunktes sitzend, namentlich bei der Beugung sehr gespannt werden.

Alle übrigen Finger- und Daumengelenke enthalten Cylinderflächen mit sanduhrartiger Biegung und sind darum wie die Ulna am Oberarm nur nach einer Richtung beweglich.

Die Sesambeinchen des Daumens sind Muskelknochen zur Fixirung eines Sehnenansatzes.

Hüftgelenk*). Dieses Gelenk ist bekanntlich ein Nussgelenk; der Mittelpunkt der Kugel ist ungefähr in der Mitte von der Höhe des grossen Trochanter zu suchen. Der dem Becken angehörige Abschnitt der Hohlfläche umspannt eine geringere Zahl von Graden, als die Kugel des Oberschenkels. Die Horizontalprojektion der Berührungsstellen beider Gelenkflächen ist nach Ed. Weber ungefähr so gross, dass dieselbe, mit einer dem mittleren Barometerstand entsprechenden Quecksilberhöhe multiplizirt, ein Gewicht giebt, welches annähernd der Schwere des ganzen Beins gleichkommt. Aus diesem Grunde ruht der Schenkel aequilibrirt in der Gelenkpfanne, d. h. er wird ungefähr mit derselben Gewalt nach oben gedrückt, als er zu fallen strebt, und übt darum keinen Druck auf seine Aufhängungsfläche aus. Desshalb ist die Reibung bei seinen Bewegungen auch so sehr gering. Vor allem Andern ist an dieser Pfanne das supercilium cartilagineum ausgebildet, welches nach Weber den Kopf bei Drehungen in der Pfanne fortwährend glättet und sich elastisch an ihn anlegt, und somit das Eindringen von Flüssigkeit in die Gelenkhöhle verhindert. — Die Bewegungen werden gehemmt durch die schwach sehnige Kapsel, welche überall an die Ränder gewachsen bei jeder Bewegung gespannt und gedreht wird; durch das ligamentum superius (ileofemorale), welches die Ueberstreckung, und durch das ligament. teres, welches in der Streckung die Adduktion unmöglich macht; Ed. Weber. Diese beiden letzten Bänder (lig. superius und teres) sind der Art gelagert, dass die mittleren Theile beider in zwei aufeinander senkrechten Ebenen, wie sich dieses schon aus der Angabe ihrer Wirkungen versteht, liegen.

Kniegelenk**). Beide Condylen des Kniegelenks sind von hinten nach vorn und von rechts nach links gebogen. Die Biegung von

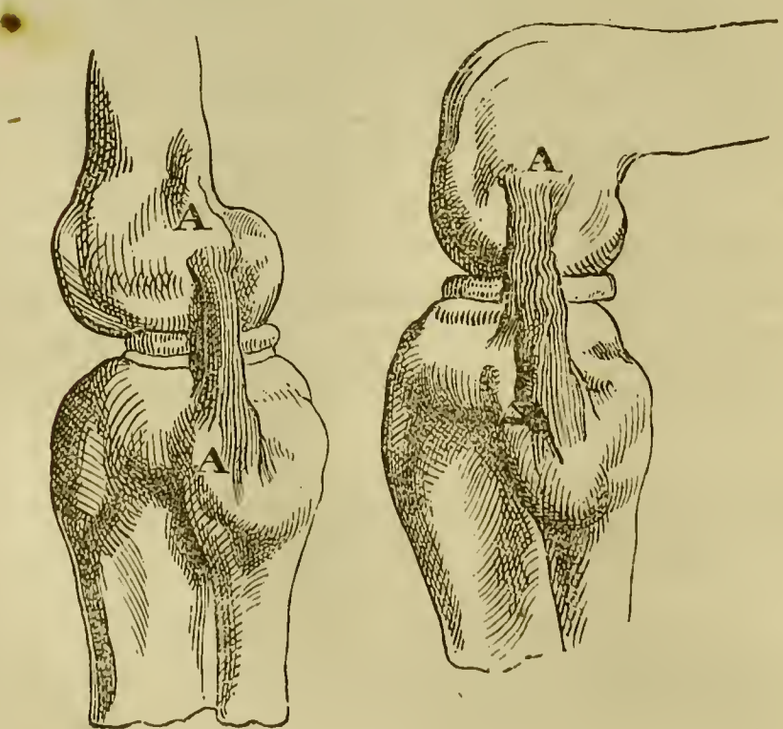
*) Ed. u. W. Weber, Mechanik der Gehwerkzeuge.
**) Ed. u. W. Weber, Mechanik der Gehwerkzeuge.

hinten nach vorn zeichnet sich dadurch aus, dass die Krümmungshalbmesser derselben nach der bezeichneten Richtung in einem stetigen Wachsthum begriffen sind. Die Biegung von rechts nach links scheint annähernd einer Kugel(?) und zwar an beiden Gelenkenden derselben Kugel(?) anzugehören. — Das Gelenkende der Tibia ist sehr flach gewölbt, nach welchem Gesetze ist unbekannt. Als ein wesentlicher Theil des Gelenkbodens müssen die cartilag. semilunares angesehen werden, indem vermittelst derselben die Berührungsflächen der Knochen vergrössert werden. Dem beweglicheren äusseren Condylus des Oberschenkels entspricht darum auch ein beweglicherer Semilunarknorpel.

In dem Knie sind zwei Bewegungen ausführbar. Die eine besteht in einer Beugung und Streckung. Diese Beugung geschieht nach Ed. Weber nicht durch ein vollkommenes Ueberrollen des gewölbteren Femurendes über die ebenere Tibialfläche, sondern durch ein gleichzeitiges Schleifen und Rollen; das Schleifen ist, wie der Augenschein ergibt, schon darum nöthig, weil die Tibialfläche eine viel geringere Ausdehnung als die Schenkelfläche besitzt; es wird bedingt durch die Hemmung, welche die Kreuz- und Seitenbänder dem Abrollen entgegensetzen. Die andere ausführbare Bewegung besteht in einer Drehung des äussern Condylus um den innern; diese Pronation und Supination ist nur in der Beugungsstellung des Gelenkes möglich, da sie in der Streckung durch die gespannten Lateralbänder verhindert wird.

Die Bandmassen des Gelenkes betheiligen sich an der Regulirung der Bewegungen folgendermassen: die ligamenta lateralia werden bei der Beugung erschlafft, jedoch das innere weniger als das äussere; bei der Streckung spannen sich beide Bänder gleichmässig. Der Grund dieser Spannung und Abspannung liegt darin, dass in der gestreckten Stellung der Abstand des Knochens von der Berührungsfläche bis zum Ansatzpunkte des Bandes grösser ist, als in der Beugung des Gelenkes. Fig. 115[a] u. 115[b] A A. Das innere Band erschlafft bei der Beugung weniger als das äussere, weil es nicht wie das äussere nur aus parallelen, sondern auch aus divergirenden Fasern besteht; demgemäss bleibt immer ein Theil derselben

Fig. 115[a]. Fig. 115[b].



gespannt, analog allen Lateralbändern der Cylindergelenke. Die Seitenbänder verhindern also die Ueberstreckung und stellen das Gelenk während der aufrechten Stellung steif; Ed. Weber. Die ligam. cruciata sind vorzugsweise in der Beugung des Gelenkes wirksam und bedingen es, dass der Oberschenkelknochen auch in der Beugung auf der Tibia hinrollen muss. Der Mechanismus, durch den sie wirken, liegt darin, dass die im Oberschenkel befindlichen Ansätze aus einer wagrechten in eine senkrechte Lage bei verschiedenen Stellungen übergehen und zwar wird (Fig. 116 A) der in der Streckung senkrechte Ansatzpunkt des vordern Bandes wagrecht bei der Beugung (Fig. 117. A), und der bei der Beugung senkrechte Ansatzpunkt des hintern Bandes wagrecht bei der Streckung. Hiedurch erfolgen stetige Ab- und Aufwicklungen einzelner Theile beider Bänder; Ed. Weber. — Die Bänder, an welche die halbmondförmigen Knorpel geheftet sind, stellen den innern in allen Stellungen des Gelenks fest.

Fig. 116.

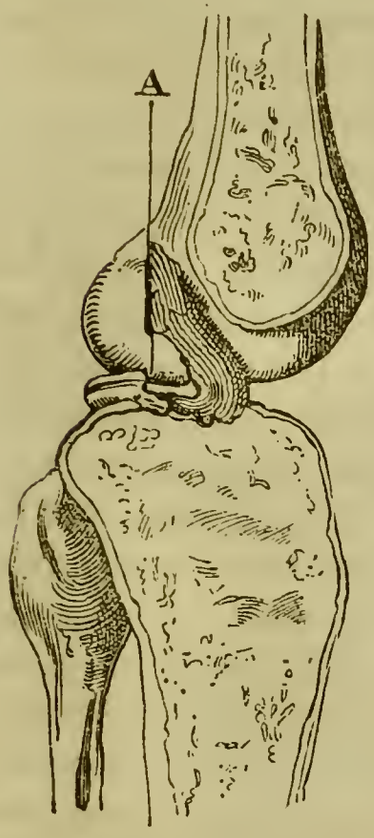
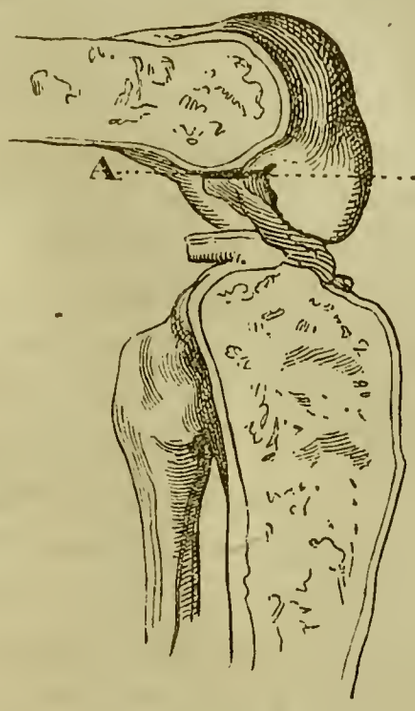


Fig. 117.

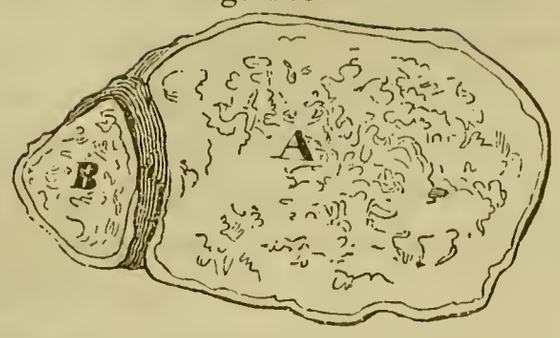


Die Fettbänder endlich werden, da das Gelenk luftleer, in die bei der Beugung vorn entstehenden grossen Lücken gedrängt; ihr Gang wird durch die Anheftung an den Oberschenkelkochen gesichert. Sie sind somit Ventile.

Das Kniescheibengelenk ist für das Kniegelenk ohne wesentliche Bedeutung, wie daraus hervorgeht, dass die Kniescheibe ohne Störung des Mechanismus der Kniegelenke am todten Bein ausgeschnitten werden kann. Die Kniescheibe ist nichts anderes als ein Sehnenknochen. Die Wirkungen der besonderen Formen ihrer Gelenkflächen sind noch nicht erörtert. Siehe hierüber Stehen.

Tibial-Fibulargelenke. Das obere ist ein Berührungsgelenk mit überknorpelten Gelenkflächen, welches eine beschränkte Bewegung nach oben und von hinten nach vorn gestattet. Seine Bewegungen werden gehemmt durch das capitulum fibulae und die ligam. tibiofibularia superiora. — Im unteren Gelenke berühren sich die beiden Knochen nicht unmittelbar; zwischen beide ist ein aus Bindewebe und Fett bestehendes Polster gelegt, so dass sich die Fibula ebensowohl um ein Geringes von der tibia entfernen, als auch um die tibia drehen

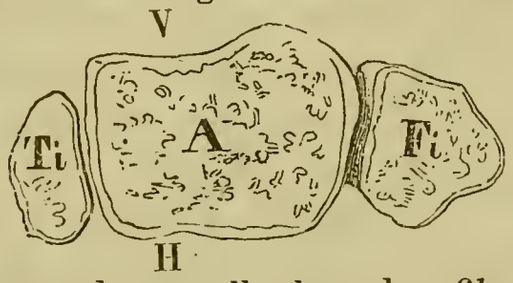
Fig. 118.



kann. Einen Querschnitt des Gelenkes stellt Fig. 118 dar, in welcher *A* die tibia und *B* die fibula bedeutet. Hemmungen gewähren die Befestigung der fibula im obern Gelenk und die lig. tibiofibularia inferiora.

Erstes Fussgelenk. Der Kopf des Astragalus ist ein Stück einer Rolle, deren Achse etwas unterhalb des Malleolus internus von rechts nach links läuft. Die obere Fläche der Rolle ist von rechts nach links ausgehöhlt, ihre äussere Kante ist gegen das hintere Ende hin abgestumpft. Der Querdurchmesser der Rolle *A* (Fig. 119) ist vorn

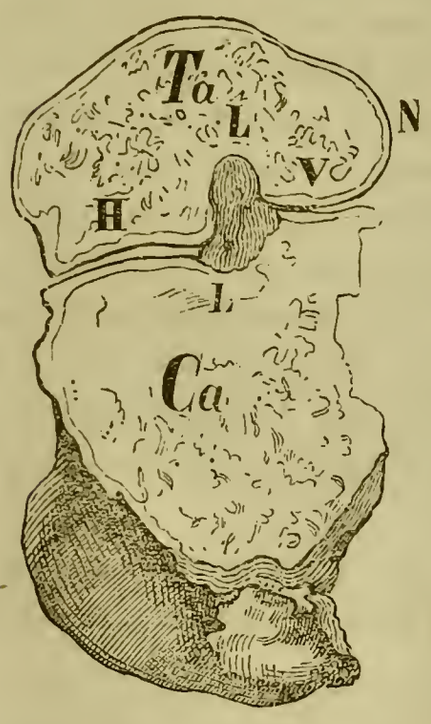
Fig. 119.



(*V*) schmal, verbreitet sich darauf rasch und nicht unbeträchtlich, und nimmt nach hinten (*H*) wieder ab. Die Seitenwand, welche sie gegen den malleolus der tibia wendet, ist sehr kurz, von beträchtlicher Länge aber die gegen den malleolus der fibula gerichtete. Die obere und innere Fläche der Gelenkhöhle bildet die tibia, die äussere Seitenwand derselben aber die fibula. Durch diese Bildung der Gelenkhöhle aus zwei aneinander beweglichen Knochen wird es möglich der Gelenkhöhle einen wechselnden Durchmesser zu geben, wie ihn die verschieden breite Rolle des Talus bei seinem Durchgang durch das Gelenk verlangt. Die Führung der Fibula um die Gelenkrolle und ihre fortwährende Anlagerung an derselben wird bedingt durch die lig. tibiofibuaria antica und postica, talifibularia antica u. postica und calcaneofibulare. Diese Bänder verhalten sich bei den verschiedenen Gelenkstellungen folgendermaassen. In der stärksten Beugung ist gespannt der freie über die Rolle des astragalus hervorragende Rand der lig. tibiofibulare anticum, das talifibulare anticum und calcaneofibulare, erschlafft dagegen ist talifibulare und tibiofibulare posticum. — In der mittleren Stellung, wo der breiteste Theil der Astragalusrolle sich einklemmt, wird die Fibula nach aussen geschoben, und es findet sich tibiofibulare posticum in starker, das entsprechende anticum aber in einer mittleren Spannung. In der stärksten Streckung, wobei der schmalste Theil der Rolle mit äusserer abgestumpfter Kante in die Gelenkhöhle tritt, zieht das lig. talifibulare anticum die Knochen aneinander, während alle übrigen Bänder namentlich die tibiofibularia erschlafft sind. Auf diesen besondern Mechanismus hat zuerst H. Meyer hingewiesen. Ausser der vorzugsweise vorkommenden Beugung und Streckung soll nach Ed. Weber in der höchsten Streckung des Fusses auch noch eine beschränkte Drehung desselben um seine Längsachse möglich sein.

Zweites Fussgelenk. Der Talus kann sich an den ihn begrenzenden ossa calcanei und naviculare verschieben; dieses Gelenk ist auf drei Flächen vertheilt, von denen zwei gegen den calcaneus und eine gegen das os naviculare hinsehen. Die beiden nach dem Fersenbein zugewendeten Flächen des talus sind im allgemeinen Abschnitte von Ringen, die jedoch nach entgegengesetzten Richtungen gebogen sind. Die hintere Fläche *H* in Fig. 120, die einen diagonal durch den Talus geführten Durchschnitt darstellt, ist nemlich von rechts nach links und von hinten nach vorn concav d. h. ihr Krümmungsmittelpunkt liegt nach der Fusssohle hin, während die vordere *V* von hinten nach vorn und von rechts nach links convex ist, so dass ihr Krümmungsmittelpunkt gegen den Fussrücken liegt. Die nach dem os naviculare hinschauende Gelenkfläche ist wie es scheint ein Kugelstück. Die am calcaneus angebrachten dem talus entsprechenden Gelenkflächen sind umfänglicher, die am os naviculare befindlichen kleiner als der Taluskopf, so dass zu ihrer Ergänzung noch das ligam. calcaneonaviculare und oft ein vorspringendes Stück des os cuboideum herbeigezogen ist. Die Gelenkachse, welche schief von unten nach oben und von aussen nach innen geht, ist bestimmt durch die Mittelpunkte der Krümmungen von *V* und *H*. Das Zusammenheften zwischen talus und Fersenbein, wird durch den apparatus ligamentosus *L L* bedingt; als wesentliche Beschränkungsbänder dienen lig. calcaneonaviculare und calcaneofibulare. Da dieses letztere, wie wir erfuhren, bei der vollkommenen Beugung des Fusses im ersten Gelenk stark gespannt ist, so hemmt es dann die Bewegung auch im zweiten Fussgelenk vollkommen. — Die Bewegung im zweiten Fussgelenk hebt den innern oder äussern Fussrand von dem Erdboden auf.

Fig. 120.



Die Behauptung, dass die Bewegungen in dem Gelenke unterbrochen seien, wenn die Last des Körpers durch das Sprungbein allein auf das Fersenbein übertragen werde, ist nicht richtig; stellt man sich aber auf die Fersen bei sark gebeugtem Fuss, so wird allerdings die beschriebene Bewegung unmöglich, was aber ebensowohl der Fall ist bei erhobenem und stark gebeugtem Fuss.

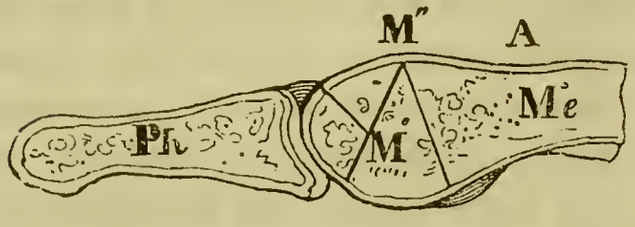
Drittes Fussgelenk. Dieses Gelenk, welches H. Meyer zuerst erklärt, geht zwischen talus und calcaneus einerseits und andrerseits zwischen os naviculare und os cuboideum. Die Drehungsachse scheint durch die gegen die Fusssohle dringende Spitze des os cuboideum und das ligam. calcaneo-cuboideum gegeben zu sein. Die Bewegungen werden sich zu der des vorhergehenden addiren und namentlich an der Erhebung des innern Fussrandes sich bethei-

ligen, wenn die Bewegungen zwischen calcaneus und talus beendigt sind. Die übrigen Fusswurzelknochenflächen bedürfen, um verstanden zu werden, einer genaueren Untersuchung als sie bisher erfahren.

Unter den Fusswurzel- Mittelfussgelenken erlaubt das erste, vierte und fünfte eine wie es scheint schleifende Bewegung.

Metatarsal-Phalangengelenke. Die Biegung der vier letzten Metatarsalköpfe von vorn nach hinten kann, wie H. Meyer angibt, dargestellt werden durch zwei aneinander grenzende Kreisbogen von verschiedenem Halbmesser; der Mittelpunkt des vordern Theiles liegt (Fig. 121) bei *M'*, der des hintern bei *M''*. Die Krümmung von rechts nach links gehört wahrscheinlich auch einem Kreise an. Die kleine Höhlung der Phalange ist entsprechend der vordern Biegung des Metatarsalkopfs gekrümmt, so dass sie nur hier Biegung und Adduktion ausführen kann; auf dem untern Stücke kann sie nur in der Beugungsebene geführt werden.

Fig. 121.



Die Phalangengelenke entsprechen den gleichen an der Hand. Die Sesamgelenke der grossen Zehe sind Rollen, ähnlich der Kniescheibe.

Muskeln des Skelets.

1. Sehnen, Faszien, Sehnenscheiden, Sehnenknochen. Die Muskeln, welche das Skelet bewegen, setzen sich nicht unmittelbar von Knochen zu Knochen, sondern nur durch Vermittelung von Sehnen und Faszien an. Die Sehnen sind im mechanischen Bezuge nichts anderes als zähe und nicht sehr dehnbare Stränge, welche den breiten Querschnitt des Muskels auf einen kleinen zurückführen, wodurch es gelingt die Angriffsorte sehr breiter Muskelmassen auf Stellen sehr geringer Ausdehnung zu conzentriren. Zugleich übertragen sie die Muskelzüge auf entferntere Punkte, darum sind sie bald länger bald kürzer angelegt und häufig gehen sie über Rollen, wodurch die Richtung des Zuges, welche der Muskel ursprünglich ausübt, wesentlich geändert wird. In diesen Leistungen werden die Sehnen unterstützt durch feste und dichte Scheiden, welche ihnen eine ganz bestimmte Lage und Zugrichtung anweisen; durch Synovialüberzüge, welche durch eine abgesonderte Flüssigkeit und ihre eigene Glätte die Reibung der Sehnen, die sie beim Durchtritt durch die Scheiden, Retinacula u. s. w. oder beim Uebergang über Knochenvorsprünge erleiden, mindern. An einzelnen besondern Punkten sind auch in die Sehnen Knochen eingelagert, wie z. B. an der Sehne des flexor carpi ulnaris das os pisiforme, an den kleinen Daumen- und Grosszehenmuskeln die ossa

sesamoidea, an den Unterschenkelstrecken die Kniescheibe. Diese Knochen fixiren theils nach der Art von Rollen die Wirkung der Muskeln nach einer einzigen Richtung, theils verbessern sie den Ansatzwinkel.

Die Faszien oder Sehnenhäute unterscheiden sich bekanntlich nicht durch ihr Baumaterial, sondern durch ihre Form von den Sehnen. Diese breiten Blätter sind als Mittel zu betrachten, durch welche theils die Ansatzpunkte der Muskelsubstanz vervielfältigt werden, wie dieses z. B. an den Faszien, welche den Vorderarm und Unterschenkelknochen verbinden, oder an den Blättern, welche man ligam. intermuscularia etc. nennt, der Fall ist, theils aber auch als Einrichtungen, durch welche (umgekehrt wie bei den Sehnen) die von schmalen Muskelbündeln ausgehenden Züge auf breiten Flächen vertheilt werden, wie dieses z. B. durch die fascia antibrachia und fascia lata in Beziehung auf die an sie sich ansetzenden mm. biceps, gluteus maximus, tensor fasciae u. s. w. geschieht.

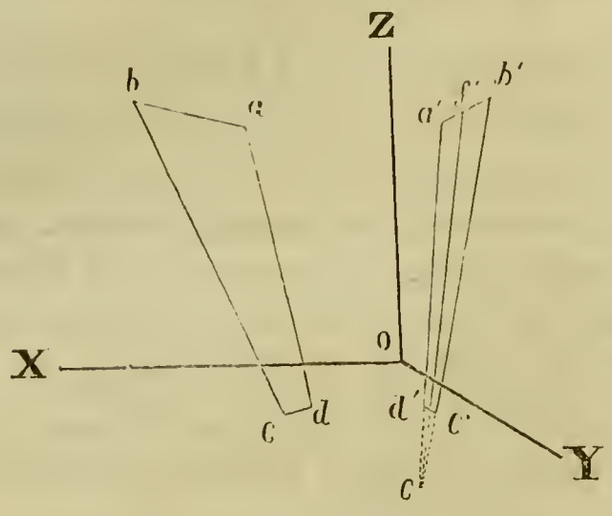
2. Bestimmung der mechanischen Leistung eines Muskels. a. Richtung*) des Muskelzuges. Die Muskelröhre kann, wie wir wissen, einen Zug in der Richtung ihrer Länge ausüben; sind demnach viele Röhren in einem Muskel so zusammengefasst, dass sie einander sämmtlich parallel laufen, so wird der Gesammtzug derselben ebenfalls nach der Richtung der einzelnen gehen. Sind sie dagegen so verbunden, dass sämmtliche Röhren nach einem Punkte hin zusammenlaufen, so wird offenbar nicht ohne weiteres anzugeben sein mit welcher der Fasern die Richtung des Gesammtzuges zusammenfällt. Zur Auffindung dieser abgeleiteten Zugrichtung hat Ad. Fick**) ein einfaches Verfahren angegeben, welches unter folgenden Bedingungen anwendbar ist: α) Sämmtliche zu einem Muskel gehörende Röhren sind um denselben Bruchtheil ihrer Länge verkürzt. Denn da mit der proportionalen Verkürzung die Leistungsfähigkeit des Muskels abnimmt, so sind nur unter der ausgesprochenen Beschränkung sämmtliche in den Muskeln enthaltenen Röhren als gleichkräftige anzusehen. β) Innerhalb des Muskels werden die zwischen den wirksamen Theilen liegenden unwirksamen in einer vollkommen gleichmässigen Vertheilung angenommen γ) Sämmtliche Röhren müssen nach einem in unendlicher oder endlicher Ferne liegenden Punkte geradelinig convergiren. δ) Sämmtliche Muskelröhren sind in überall einander parallelen Schichten angeordnet, so dass der ganze Muskel

*) Wie der Kundige aus dem Worte Richtung des Muskelszugs entnimmt macht der Text die Voraussetzung, dass jeder einzelne Muskel des menschlichen Körpers so zusammengeordnet sei, dass aus allen in ihm enthaltenen Röhren eine einzige Resultirende hervorgehe. Diese Voraussetzung ist durchaus noch nicht allgemein erwiessen, aber für die meisten Muskeln allerdings wahrscheinlich.

**) Ad. Fick, Statische Betrachtung der Muskulatur u. s. w. Henle u. Pfeufer IX. Bd.

eine von parallelen Ebenen begrenzte Platte darstellt, deren Dickendimension unbedeutend gegen ihre übrigen Ausdehnungen ist.

Fig. 122.



Das Verfahren ist in Fig. 122 erläutert: Sei *a b c d* der für flächenartig geltende Muskel und *a' b' c' d'* seine Projektion auf die *YZ* ebene; alsdann ist die Halbirungslinie *f c* des Winkels *a' c b'* die Projektion der gesuchten Resultirenden auf dieselbe Ebene; denn die Projektionen der sämmtlichen componirenden Kräfte (der einzelnen Fasern) liegen um diese Halbirungslinie offenbar symmetrisch vertheilt. Auf dieselbe Weise verfährt man mit den zwei übrigen Ebenen *XY* und *ZX*, wodurch man nach den drei aufeinander senkrechten Ausdehnungen des Raumes die Projektion der Resultirenden erhält. Diese drei Projektionen liefern dann nach bekannten Regeln die Resultirende des Muskels. Wo in der Anwendung ein Muskel nicht mehr als in einer Ebene angesehen werden konnte, wie z. B. m. glutaeus maximus, wurde er von A. Fick in mehrere Streifen zerlegt, die nahezu in einer Ebene lagen.

b. Indem wir nun die Frage nach der Kraft erheben, welche dem resultirenden Muskelzuge zukommt, müssen wir zuerst voraussetzen, dass alle Veränderlichkeiten, welche von der Erregbarkeit, der Erregung und der Zeitdauer der Verkürzung abhängen, eliminirt seien, mit andern Worten: dass der Muskelstoff sich immer in einem Maximum seiner ihm möglichen Leistungsfähigkeit befinde. Aber selbst unter diesen Beschränkungen, die wir in der Wirklichkeit nicht schaffen können, gebieten wir über kein absolutes Maass der Muskelkräfte, so dass sich unsere Betrachtungen nur immer auf die Angaben von relativen Maassen erstrecken können, welche sich ergeben aus dem Vergleiche mehrerer Muskeln mit einander. Als ein solches relatives Maass lassen wir nun gelten das Gewicht oder die Dimensionen des überall als gleich wirksam gedachten Stoffes; das Gewicht, weil wir ohne Zweifel annehmen dürfen, dass eine grössere Masse, und zwar entsprechend ihrer Gewichtsüberlegenheit, mehr Kräfte entwickle als eine kleinere. Die Dimension aber bringen wir in Anschlag, weil der Stoff bei gleichem Gewicht und einer verschiedenen Anordnung d. h. je nachdem er aus wenigen langen oder zahlreichen kurzen Röhren zusammengefügt ist, sich eignet entweder kleine Gewichte auf eine beträchtliche Höhe oder beträchtliche Gewichte auf eine geringe Höhe zu heben. Aber auch die auf Vergleichung der Gewichte und Dimensionen der Muskelsubstanz gegründete Beurtheilung der Muskelkräfte ist nur dann erst wieder sinnvoll, wenn die Röhren der Muskelsubstanz sämmtlich einander parallel laufen, denn nur unter dieser Voraussetzung wird die bewegende Kraft des Muskels gleich sein derjenigen, welche die Summe seiner einzelnen Röhren auszuüben vermag. Denn neigen

sich diese letztere gegeneinander, so wird offenbar je nach der Grösse des Neigungswinkels ein gewisser Antheil der Gesammtkraft des Muskels innerhalb desselben durch die aufeinander erfolgenden Gegenwirkungen verzehrt und somit seinen bewegenden, auf andere Massen übertragbaren Kräften entzogen. In der That ist aber auch diese Bedingung gleichläufiger Fasern selten erfüllt.

Unter den bis dahin in Anwendung gebrachten scheint das relative Muskelmaass, welches Ad. Fick vorschlägt, noch das vorzüglichere. Er stellt sich die Aufgabe, die Maxima der Tragfähigkeit zu vergleichen; zu diesem Behufe setzt er die Kraft des Muskels proportional dem grössten (nicht aber etwa einem mittleren) Querschnitt desselben, den jener besitzt, bevor seine Röhren irgendwelche Verkürzung erfahren haben. Wie wir durch Ed. Weber und Schwann wissen (Seite 343), kommt zu dieser Zeit dem Muskel die grösste Tragfähigkeit zu, oder wie wir uns dort ausdrückten, er vermag das Maximum der Last auf Null Höhe zu heben. Diese Auffassung ist allerdings mit der Einseitigkeit behaftet, von einer Vergleichung der Hubhöhe ganz abzusehen; sie gewährt dagegen den Vortheil, dass sie die Muskeln vergleicht, während die Fasern in dem möglichsten Parallelismus sich befinden, und zugleich erlaubt sie die Zusammenstellung von solchen Muskelmassen, deren einzelne Fasern von sehr verschiedener Länge sind, da im Beginn der Zusammenziehung allen Röhren eine gleiche Kraft zukommt. — Den grössten Querschnitt findet man nun dadurch auf, dass man aus dem zu untersuchenden Muskel an dem Orte seines grössten Umfangs ein durch zwei parallele Schnitte begrenztes Stück ausschneidet, dasselbe wiegt und seine Länge misst. Kennt man dann noch das spezifische Gewicht der Muskelsubstanz, so ist der Querschnitt zu finden. Denn das absolute Gewicht des Muskelstückes (A) ist = dem Product aus dem spezifischen Gewicht (G) mit dem Volum (V) des Muskels, d. h. $A = SV$. Das Volum V ist aber = Länge (L) mal Querschnitt (Q), also $A = SLQ$ und somit $Q = \frac{A}{SL}$.

Unüberwindliche Schwierigkeiten bietet es vorerst noch, wenn man die Muskeln rücksichtlich ihres Nutzeffektes, oder auch nur mit Berücksichtigung ihrer Hubhöhe auf ihre mechanischen Leistungen vergleichen will. Mit Beziehung hierauf lässt sich kaum mehr aussagen, als dass der kurze Muskel die angehängte Last auf eine geringere Höhe bringen wird, als der längere. Die Schwierigkeiten, die einer weiteren Beurtheilung entgegentreten, sind mannigfach; sie liegen zum Theil darin, dass wir das Gesetz nicht kennen, nach welchem mit der proportionalen Verkürzung die Fähigkeit des Muskels, Gewichte zu heben, abnimmt, d. h. in welchem Verhältniss der Tragfähigkeit gleich grosse Querschnitte verschieden stark zusammengezogener Muskeln stehen. Da wir aber wenigstens im Allgemeinen wissen, dass die Tragfähigkeit abnimmt, wenn die proportionale Verkürzung im Zunehmen begriffen ist, so schliessen wir daraus, dass ein um einen bestimmten absoluten Werth verkürzter Muskel, der aus Fasern von ungleicher Länge besteht, auf den verschiedenen Orten seines Querschnitts eine grössere oder geringere Kraft besitzt, je nachdem durch den betreffenden Ort kürzere oder längere Fasern hindurchtreten. Hieraus folgt aber sogleich, dass sich auch in diesem Falle die Richtung des Zuges fortlaufend mit der Verkürzung ändern muss. Diese Schwierigkeit wäre nur wegzuräumen, wenn man sämmtliche Faserlängen messen könnte; oder sie darf bei der Betrachtung der im lebenden Menschen verwendeten Kräfte vernachlässigt werden, wenn sich das Gesetz von Ed. Weber*) bestätigt, wonach sich bei den Gliederbewegungen die einzelnen verschieden langen Röhren vermöge ihrer Anheftung an die Gelenk-

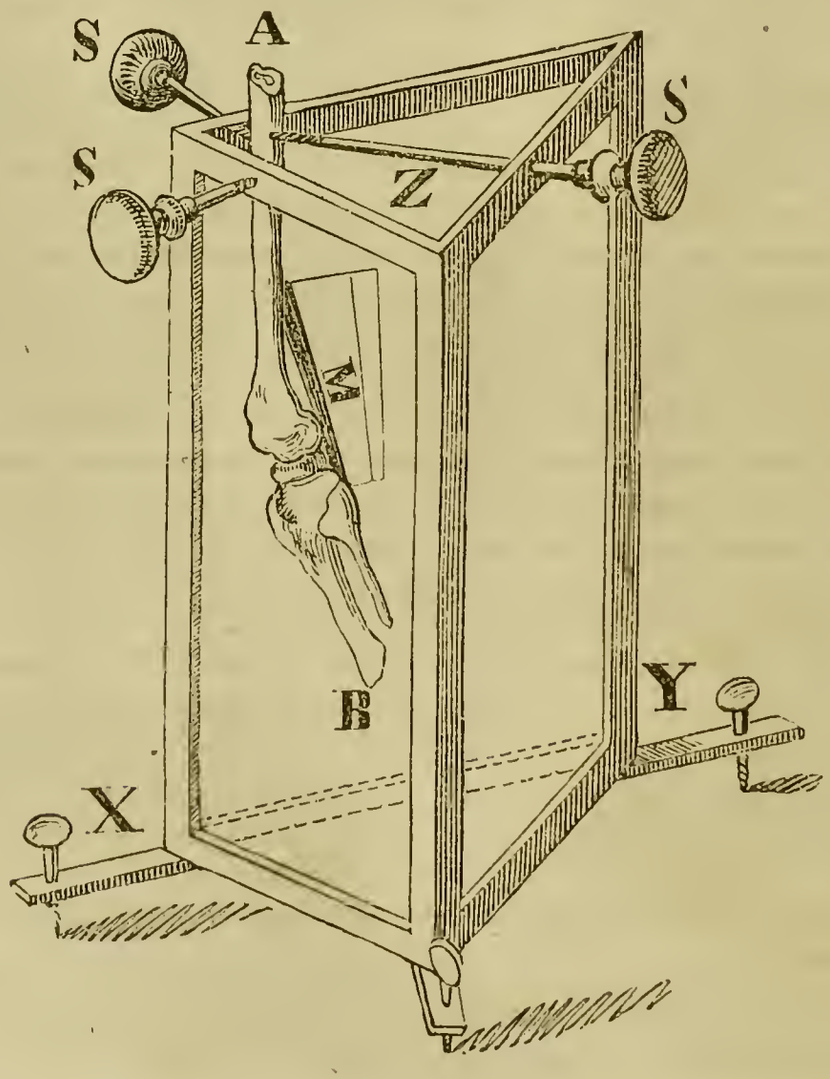
*) Ed. Weber, Ueber die Längenverhältnisse der Fleischfasern s. u. w. Leipziger Berichte; mathematisch physische Classe 1851. — Derselbe; über die Gewichtsverhältnisse der Muskeln u. s. w ebendaselbst 1849..

enden immer um das gleiche proportionale Stück ihrer ursprünglichen Länge verkürzten. — Zum weitern gelingt es aber auch darum nicht, die bewegende Kraft des Muskels während seiner Verkürzung anzugeben, weil sich in der letztern bei allen Muskeln mit convergirenden Fasern der Convergenzwinkel ändert. — Aus diesem Grunde gibt eine Bestimmung von mittleren Längen und mittlern Querschnitten der verschiedenen Muskeln, wie sie Ed. Weber als Maass für den Nutzeffekt gebraucht, kaum noch einen weiteren Aufschluss, als das absolute Gewicht der Muskeln.

3. Verwendung der von den Muskeln auf das Skelet übertragenen Kräfte. Die von den Muskeln entwickelten Kräfte übertragen sich auf die einzelnen Hebel des Skelets und erzeugen dort entweder Spannungen [durch Druck und Zug] oder Bewegungen der Theile gegeneinander. Die Aufgabe, welcher Antheil der von den Muskeln übertragenen Kräfte zur Bewegung und welcher zur Erzeugung von Spannungen verwendet wird, ist zu lösen, wenn man die Lage der Muskelresultirenden zu den Knochen und ihren Drehachsen (resp. Drehpunkten) kennt und den Umfang der Bewegung, welche den Knochen in ihren Gelenken zukommt.

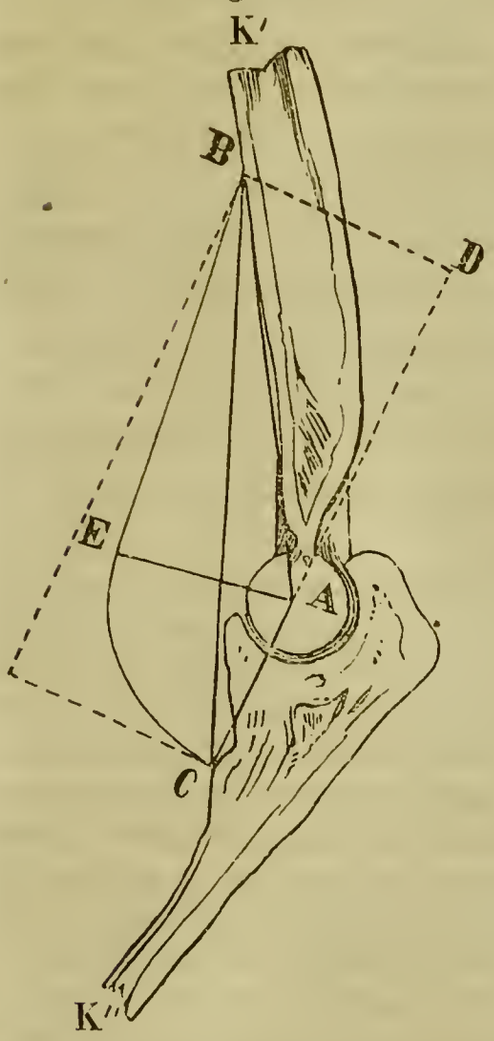
Um diese Bedingungen zu erfüllen, bringt Ad. Fick das zu untersuchende Glied *A B*. Fig. 123, dessen Muskeln präparirt sind, frei in das Innere eines aus Holz dargestellten rechtwinkligen Coordinatensystems *X*, *Y*, *Z*, und hält es daselbst unverrücklich mittelst der Schrauben *S*, *S*, S fest. Dann entwirft er nach bekannter Methode ebensowohl von der Drehachse, als auch von der Resultirenden des Muskels *M* Projektion auf die Ebenen *X Y*, *Z Y*, *X Z* und bestimmt darauf ihre Lage zum Drehpunkt auf jeder der Ebenen.

Fig. 123.



Gesetzt es seien diese Bedingungen erfüllt, so dass der Punkt *A* in Fig. 124 das Ende einer auf die Ebene des Papieres senkrechten Achse bezeichnete, um welche sich die beiden Knochen *K'* und *K''* in der Ebene des Papieres drehen könnten, und *BC* die Resultirende eines zwischen beiden Knochen ausgespannten Muskels darstellte, so würden die Linien *AB* und *AC* die Hebelarme und die Winkel *ABC* und *ACB* die Ansatzwinkel sein. Die Bewegung zwischen *K'* und *K''* kann nun entweder geschehen, indem sich beide Knochen gleichzeitig oder der eine bewegliche sich dem andern feststehenden nähert. Da das Resultat in dem ersteren Fall sich zusammensetzt aus den Einzelbewegungen des zweiten, so wird es genügen die Prinzipien zu geben, nach denen der zweite zu beurtheilen ist. Wir nehmen an, es sei *K'* vollkommen unbeweglich und zudem soll die Linie *BC* nach irgend einem Längenmaasse in so viel Theile getheilt sein, als die Resultirende Gewichtseinheiten zu heben vermag; nach diesen Voraussetzungen genügt es die Linie *BC* mittelst des Parallelograms der Kräfte in zwei andere zu zerlegen, von denen die eine *BD* in der Richtung des Hebelarmes *AC* und die andere *DC* senkrecht auf *AC* gelegen ist; theilt man diese beiden Linien *BD* und *CD* nach demselben Längenmaass, in welchem auch die Länge von *BC* ausgedrückt war, so wird die Zahl der Maasseinheiten jeder Linie zugleich den Kraftantheil der Resultirenden *BC* angeben, in welches sie nach den bezeichneten Richtungen wirkt, mit andern Worten den Druck, mit welcher sie in der Richtung von *DC* die Knochen *K''* und *K'* gegeneinander presst und die bewegende Kraft, welche in der Richtung von *BD* den Knochen *K'* zieht. Da nun aber in dem rechtwinkligen Dreieck $\frac{BD}{BC}$ = dem Sinus des Ansatzwinkels *BCD* ist, so wird $BD = R$ sin. *BCD* sein, wenn wir mit *R* die Kraft der Resultirenden *BC* und mit *BD* diejenige des bewegenden Zuges *BD* bezeichnen. — Der oben gefundene Werth von *BD* gilt aber nur so lange als die Knochen die bezeichnete Stellung beibehalten; folgt in der That, durch keinen weiteren Widerstand aufgehalten, der Knochen dem bewegenden Zuge, so wird ihn dieser nach der Kreislinie *CE* führen; neh-

Fig. 124.



men wir nun beispielsweise an, es sei der Knochen so gestellt worden, dass sein Hebelarm von C nach E gekommen, so wird jetzt BE die Lage der Resultirenden und AEB der Ansatzwinkel sein, welcher wie der Augenschein lehrt beträchtlich grösser geworden, so dass unter Voraussetzung gleicher Werthe von R das Produkt R sin. BCD kleiner als R sin. AEB wird. — Nun ändert sich aber bei der Zusammenziehung des Muskels nicht allein die Vertheilung der Gesammtkraft zwischen den drückenden und bewegenden Wirkungen, sondern auch wie wir wiederholt erwähnten, die Gesammtkraft selbst, in einer uns unbekannten Weise und öfter sogar die Lage der Resultirenden im Muskel selbst, so dass die Anwendung der eben gegebenen Grundsätze auf den einzelnen Fall sogleich unmöglich wird, so wie man beabsichtigt die Wirkung des Muskels für mehr als eine Stellung des Gliedes zu bestimmen.

Statt auf dem vorgezeichneten Wege, der das Problem in seiner ganzen Ausdehnung zu lösen verspricht, vorzuschreiten, hat man andere sogenannte empirische Bestimmungsmethoden in Anwendung gebracht: 1. Um zu ermitteln, in welcher Richtung ein Muskel ein Glied bewegen könne, bedient sich Ed. Weber der Messung der Abstände, in welchen sich die Muskelansätze befinden bei verschiedenen Stellungen ihrer zugehörigen Knochen; offenbar wird der Muskel, da er durch seine Verkürzung den Knochen bewegt, diejenige Stellung der letzten erzeugen können, bei welcher die Muskelansätze aus einer grössern in eine geringere gegenseitige Entfernung treten. Diese Bestimmungsweise erlaubt allerdings die bewegende Richtung einer jeden einzelnen Faser eines Muskels zu bestimmen, sie sieht dagegen von der drückenden ganz ab. — 2. Man sucht die sämmtlichen Fasern der lebenden Muskeln, während sie sich noch in ihren normalen Verbindungen befinden, mittelst anhaltender elektrischer Schläge in gleichmässige Zusammenziehung zu versetzen; Duchenne*). Diese Methode wird erst dann als allgemeines Hilfsmittel Beachtung verdienen, wenn man im Stande ist, es mit Sicherheit zu bewerkstelligen, dass die elektrischen Ströme in gleicher Stärke auf sämmtliche Fasern eines Muskels isolirt von allen benachbarten Muskeln einwirken.

Die anatomischen Lehrbücher geben mit Vernachlässigung der Grösse der Zugkraft unter Muskelwirkung nur Angaben über die Richtung der Kraft; aber auch diese sind ganz unvollkommen, wie abgesehen von allem Uebrigen daraus hervorgeht, dass man nicht bei allen im Gelenk möglichen Verstellungen den Zug des Muskels bestimmt, sondern nur bei einigen willkürlich angenommenen. So können z. B. offenbar fast alle Beuger und Strecker der Anatomen auch Rotatoren sein, wenn vor Beginn der Wirkung des Muskels der Knochen um seine Längsachse gedreht war etc.

4. Hebellängen, an welchen die bewegenden Muskelkräfte wirken. Je nach der grössern oder geringeren Länge des Hebelarmes, an welche sie angreift, hebt eine bewegende Kraft bestimmten Werthes geringe Lasten mit grösserer oder grosse Lasten mit geringerer Geschwindigkeit, so dass das aus Geschwindigkeit (g) und Masse (m) hervorgehende Produkt $= mg$ für sie in allen Fällen dasselbe bleibt. Dass diese bekannteste aller physikalischen Regeln auch in der Combination der Skelethebel mit den Muskelkräften ihre volle Anwendung hat,

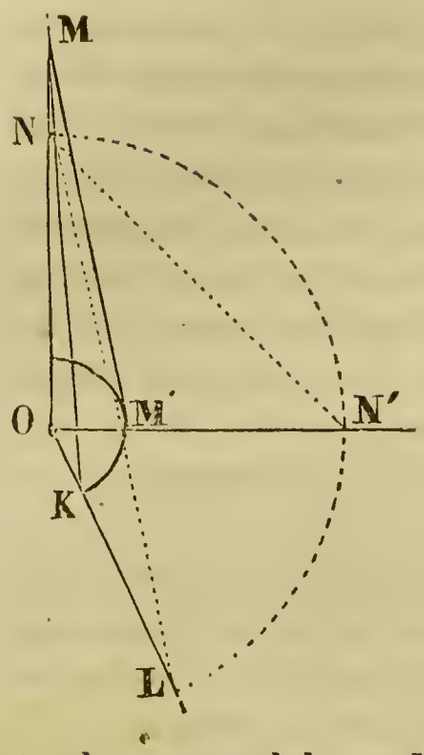
*) Duchenne in Valentin's Jahresbericht der Physiologie 1851. p. 150.

scheint kaum bemerkenswerth. Als wichtig ist nur hervorzuheben, dass die Skelethebel, weil sie mit Gelenken versehen sind, die in jeder beliebigen Stellung durch die Druckkräfte umliegender Muskelbänder fixirt werden können, ihre Länge zu verändern im Stande sind. Daraus folgt, dass das Verhältniss zweier zugehörigen Hebelarme, an deren einem eine zu hebende Last, und am andern eine Muskelkraft wirkt, manigfach veränderlich ist, so dass dieselbe Muskelkraft je nach Umständen eine geschwinde oder eine kräftige Bewegung hervorruft. Als bekanntes Beispiel diene hierfür die Last, die man bei gestrecktem oder gebeugtem Arm zu heben vermag. —

5. Aufspannung der Muskeln am Skelet in der Verlängerung und Verkürzung.

a. Während der Ruhe finden sich die Muskeln zwischen ihren Ansatzpunkten immer in einem gewissen Grade elastischer Spannung; aus dieser Behauptung erläutert Ed. Weber mit Recht die Thatsache, dass auch die Enden des in der Ruhe durchschnittenen Muskels, gegen ihre Ansatzpunkte hin zurückfahren. Vermöge dieser Einrichtung wird nicht allein der Muskel, wenn eine ihn bisher verkürzende Erregung nachlässt wieder auf seine ursprüngliche Länge ausgedehnt, sondern es beginnt auch mit der eintretenden Verkürzung sogleich der Muskelzug seine Wirksamkeit auf den Knochen zu äussern. Durch diese beiden Umstände werden die in der Richtung der Muskelröhren wirksamen Zugkräfte am vollkommensten für den Knochen nutzbar gemacht. — Da nun aber um alle und namentlich um die Berührungsgelenke Muskeln sitzen, welche nach gradezu entgegengesetzten Richtungen wirken, so muss die gesteigerte elastische Spannung, in welche die Muskeln der einen Seite treten, wenn sich die der anderen zusammenziehen, der Verkürzung dieser letztern einen Widerstand bieten. Wegen der Eigenthümlichkeit der Elastizitätscoefficienten der feuchten thierischen Stoffe, insbesondere der hier in Betracht kommenden Muskel- und Sehnensubstanz bei geringen proportionalen Ausdehnungen derselben sehr niedrig zu sein, wird jedoch dieser Widerstand sich als nicht erheblich herausstellen, vorausgesetzt, dass selbst bei einem Maximum der spannenden Gelenkdrehung die proportionale Verlängerung des Muskels keine beträchtliche ist. Diese Bedingung ist erfüllt dadurch, dass fast durchweg ein bedeutender Längenunterschied zwischen den beiden Hebelarmen besteht, an welchen je ein Muskel diesseits und jenseits eines Gelenkes zieht, so dass namentlich immer das eine Ende des Muskels nahe und ein anderes entfernt von dem zugehörigen Gelenke sich anheftet. Dass hierdurch für die Ausdehnung die bezeichnete Folge eintritt ergibt die Anschauung ohne besondern Beweis. Setzen wir z. B. Fig. 125 zwei Anheftungsweisen eines und desselben Muskels voraus, vermöge deren das eine Mal der eine seiner Gelenkarme OM beträchtlich an Länge den an-

Fig. 125.



dern OM' übertreffe, während ein anderes Mal beide Hebelarme ON und ON' von gleicher Länge sind, und denken wir uns nun den Hebelarm OM' resp. ON, um den für beide gleichen Winkel $M'OK$ reps. $N'OL$ gedreht, so wird der Muskel $M'M$ indem er die Länge MK angenommen sich nur sehr unbeträchtlich ausgedehnt haben im Vergleich zu der Verlängerung des Muskels NN' als das eine seiner Enden N' in die Lage L überging. Hieraus ergibt sich die Regel, dass alles andere gleichgesetzt ein Muskel bei derselben Winkeldrehung einen um so geringeren proportionalen Längenzuwachs erhält, je grösser die Differenz seiner beiden Hebellängen ist. — Bedeutungsvoll für die Verminderung des Widerstandes ausgedehnter Muskeln ist es nun auch, dass die Sehne wenn sie lang ist im Verhältniss zu der rothen Substanz eines Muskels meist einen sehr geringen Querschnitt besitzt, so dass sie trotz der geringen Dehnbarkeit ihrer Substanz dennoch leicht zu verlängern ist.

b. Die Muskelfasern sind nun aber auch um die Gelenke so angelegt, dass selbst bei dem Maximum ihrer möglichen Verkürzung ihre ursprüngliche Länge um einen nicht all zu grossen Antheil abnimmt, Joh. Müller *). Die nächste Folge, die sich mit Berücksichtigung bekannter Eigenthümlichkeiten der Muskelkräfte hieraus ergibt, besteht darin, dass dann das am Skelet angeheftete Muskelrohr seinen Hebelarmen noch sehr beträchtliche Zug- und Druckkräfte mittheilen kann. Die besondern Umstände, durch welche diese Anordnung besteht liegen darin, dass: *α.* wie schon bemerkt ist, immer ein sehr beträchtlicher Unterschied in der Länge der beiden zu je einem Muskel gehörigen Hebelarme besteht; um zu zeigen wie durch diese Einrichtung selbst bei einem Maximum der Beweglichkeit der proportionale Werth der Verkürzung sehr gering werde, verweisen wir auf Fig. 125. Nehmen wir an, es sei in ihr die Beweglichkeit der Hebelarme unbegrenzt, so dass z. B. der Winkel MOL bis zu Null abnehmen d. h. die Punkte N und N' zur unmittelbaren Berührung kommen könnten; würde sich nun der Muskel NN' um das Gelenk O so angesetzt haben, dass der Hebelarm ON gleiche Länge mit OL besässe, so hätte die Länge des Muskels auf Null reduzirt werden müssen; setzt sich dagegen, wie es in der That geschieht, der gleichlange Muskel $M'M$ an die ungleichen Hebelarme OK und OM an, so wird bei der vorausgesetzten Drehung, wobei der Punkt M' auf P zu liegen kommt, der Muskel noch die beträchtliche Länge $MP =$ dem Unterschiede der

*) Lehrbuch II. Bd. p. 199. Anmerk.

Längen beider Hebelarme besitzen. — *β.* Wenn Muskeln mehr als ein Gelenk überspringen, so dass in der Verkürzung ihre beiden Ansatzpunkte sich einander beträchtlich nähern werden, so sind sie sehr lang genommen, während ihre Sehne sehr kurz ist, so dass sie in der That eine beträchtliche Verkürzung zu ertragen im Stande sind. — Ed. Weber*) der zuerst die Längenverhältnisse der Muskeln mit Rücksicht auf ihre mögliche Verkürzung in Betracht gezogen hat, gibt an, dass im Mittel am menschlichen Skelet der Längenunterschied der rothen Fasern zwischen möglichster Verkürzung und möglichster Verlängerung sich zu der grössten Länge derselben verhalte = 47 : 100.

Die möglichst grösste und geringste Länge misst Ed. Weber durch den Abstand der Ansatzpunkte des Muskelfleisches am präparirten Muskel, nachdem er das zugehörige Glied in die am meisten erschlaffenden und spannenden Grenzstellungen gebracht, welche im Leben ausführbar sind. Da ein Muskel immer aus Röhren von sehr verschiedener Länge besteht, so bestimmte er jedesmal die längste und kürzeste Faser desselben. — An einem Körper, dessen Muskeln er sämmtlich in der bezeichneten Weise durchmass, schwankten die Maasse vom kürzesten zum längsten Muskel von 5 bis zu 453 MM. Die längsten Fasern enthalten die Muskeln, welche sich zugleich über zwei sehr bewegliche Gelenke spannen; und im Mittel sind die Muskeln der Extremitäten länger als die des Rumpfes. Bei einer Vergleichung des Längenunterschiedes der Muskeln in der grössten Ausdehnung und grössten Verkürzung mit ihrer grössten Länge ergab sich, dass die Verhältnisszahl weitaus in den meisten Fällen dem angegebenen Mittel sehr nahe kam; jedoch gab es auch Abweichungen, indem die kürzesten Fasern des m. brachialis internus die Verhältnisszahl 100 : 40 und die des m. biceps femoris, semimembranosus und semitendinosus nur 100 : 80 gaben; diese letzten Muskeln stehen jedoch mit ihrer grossen proportionalen Verkürzung sehr vereinzelt da. Ed. Weber behauptet auch nach seinen Messungen, dass wenn sich ein Muskel aus verschieden langen Röhren zusammensetze, dennoch zwischen der Grösse seiner Verkürzung und der grössten Länge das bezeichnete Verhältniss von 100 : 47 bestehe.

6. Ueber die Zusammenfassung der Muskelprimitivtheile zu Muskeln. — Eine Frage von eigenthümlichem Interesse ist weiterhin die, welche mechanische Principien bei der Zusammenordnung der Muskelröhren zu Muskeln befolgt seien. Auf den ersten Blick scheint mit Rücksicht hierauf ohne bestimmte Regeln verfahren zu sein, indem bald Muskelröhren von sehr verschiedener Richtung, wie an den mm. deltoideus, cucullaris, glutaeus medius u. s. w. in eine Sehne zusammenlaufen, während ein anderes Mal Muskelröhren gleicher Richtung wie z. B. im mm. biceps brachii, brachialis internus, supinator longus in den verschiedenen Sehnen am Vorderarm ausmünden. So weit sich aber schon jetzt ersehen lässt, sind dennoch folgende Regeln festzustellen: *a.* Wenn gleich gerichtete Muskelröhren in zwei oder mehr Muskeln gespalten sind, welche ein und dasselbe Gelenk nach derselben Richtung ziehen, so ist der eine derselben an einen Kraft- und der andere an einen Geschwindigkeitshebel befestigt. Da aber nach dem Vorher-

*) Ed. Weber, Ueber die Längenverhältnisse u. s. w. Leipziger Berichte; physisch-mathem. Classe 1852. 63.

gehenden eine Ungleichheit in der Länge der Hebelarme stattfinden muss, so wird zwischen den beiden Muskeln mit gleichgerichteten Faserzügen eine solche Verschränkung der Ansätze stattfinden müssen, dass einer der Muskeln am oberen Ende des Knochens *A* entspringt und an das obere Ende des Knochens *B* sich befestigt, während der zweite am unteren Ende des Knochens *A* seinen Ursprung und am untern Theil des Knochens *B* sein Ende findet. Dieses Gesetz der Verschränkung der nach gleicher Richtung ziehenden Muskeln findet eine sehr verbreitete Anwendung, so dass es nicht nothwendig erscheint Beispiele derselben vorzuführen. — *b.* Wenn gleichgerichtete Muskelröhren in zwei oder mehr Muskeln gespalten sind, die in gleicher Richtung auf dasselbe Gelenk wirken, ohne dass einer derselben an einen Last- und der andere an einen Geschwindigkeitshebel sich ansetzt, so ist dem einen von beiden noch eine Nebenwirkung auf ein anderes Gelenk zugetheilt; in diesem Fall springt mit andern Worten der eine der Muskeln nur über ein und der andre über zwei Gelenke fort, oder beiden ist für dasselbe Gelenk, neben einer gemeinsamen Wirkung auch noch jedesmal eine besondere anvertraut. Beispiele hierfür liefern die mm. biceps brachii und brachialis internus, von denen der erste Beuger und Supinator des Vorderarms, der letzte nur Beuger ist; ferner der m. triceps brachii, dessen langer Kopf neben der mit den kürzern gemeinsamen Vorderarmstreckung auch noch den Oberarm im Schultergelenk bewegt; ferner die mm. biceps femoris (caput long.), semitendinosus und semimembranosus, welche sämmtlich den Oberschenkel strecken und den Unterschenkel beugen, während diesen der erstere Muskel zugleich nach auswärts und die letzteren ihn nach einwärts rollen u. s. w. u. s. w. — Diese beiden so eben vorgeführten Grundsätze lassen die beiderseitige oder nur einseitige Isolation gleichgerichteter Muskelröhren vollkommen sinnvoll erscheinen. Unmöglich ist es dagegen aus ähnlichen allgemeinen Regeln das häufige Vorkommen zu rechtfertigen, wonach ganz verschieden laufende in ihrer Wirkung fast durchweg antagonistische Fasern in eine Sehne zusammengefasst sind wie z. B. am m. cucullaris, m. glutaeus medius u. s. w. —

7. Vertheilung der Muskeln um die Gelenkachsen; Gegner und Helfer. Ein- und zweigelenkige Muskeln. Um alle Gelenke sind die Muskeln so angelegt, dass für jede der Bewegungsrichtungen, welche dem Gelenk vermöge seiner Flächen und Bandapparate zukommt, auch Muskeln angelegt sind; daraus folgt, dass auch an den entgegengesetzten Enden derselben Gelenkmasse Muskeln ziehen, welche das Hin und Her der Bewegung in ein und derselben Ebene bedingen, so dass also, wenn wie am Hüft- und Schultergelenk, Bewegungen nach allen Richtungen möglich sind, ein vollkommener Muskeltrichter vorhanden ist, dessen Faserung annähernd parallel mit der Längenachse

des Knochens geht, welche dann noch von Muskelbändern gekreuzt wird, deren Länge senkrecht gegen die des Knochens geht. Bei einer solchen Anordnung versteht es sich aber von selbst, dass jedesmal nur wenige der um ein Gelenk gelegten Fasern absolute Gegner sind, so dass unter allen Umständen die Verkürzung der einen Faser eine Verlängerung der andern bedingen müsste. Im Gegentheil, es entspringt aus einer solchen Anordnung die Folge, dass dieselben zwei Muskeln in dem einen Fall Gegner und im andern Fall Helfer sind. So werden z. B. die vordern mm. adductores femoris [pectineus, gracilis, adductor longus und brevis] weil sie den Oberschenkel beugen, dem m. glutaeus maximus entgegen wirken, sie werden dagegen in Verbindung mit dem letztern Muskel den Oberschenkel adduziren u. s. w. — Zu antagonistischen Wirkungen führen aber nicht allein die Muskelzüge unter sich, sondern es vermögen begreiflich diesen letzten auch Knochenvorsprünge, Bänder, schwere Massen und dergleichen entgegen zu wirken. Diese Bemerkung gilt namentlich für das Hüft-, Knie-, Schlüsselbein-, Kiefergelenk und andre. So tritt z. B. der streckenden und adduzirenden Wirkung der mm. glutaeus maximus und adductor magnus der gemeinsame Bandapparat, welcher aus dem ligament. superius, teres und dem Stücke der fascia lata besteht, das sich von der spina ossis ilei anterior superior über den trochanter major zum Unterschenkel erstreckt, entgegen; dem Zuge des vierköpfigen Unterschenkelstrecker setzen sich die ligamenta genu lateralia entgegen u. s. w. — In gleichem Sinne ist der Antagonist der kräftigen Kopf- und Rückgrathstrecker die Schwere der nach vorn liegenden Kopf-, Brust- und Bauchknochen und Eingeweide u. s. w. Hieraus folgert sich aber nun weiter noch die Assymetrie der Muskelmasse um die Gelenke, so dass z. B. den kräftigen Adduktoren und Streckern des Oberschenkels, den Streckern des Unterschenkels, den Hebern des Schulterblattes u. s. w. keine entsprechend starke Beuger u. s. w. gegenüber stehen.

Bei einer Vergleichung derjenigen Muskeln, welche nur ein Gelenk bewegen mit denen die zugleich auf zwei wirken ergibt sich für die grossen Gelenke als Regel, dass jedesmal die erstere Gruppe vollkommen vorhanden ist, so dass ein jedes dieser Gelenke nach allen Richtungen hin unabhängig von den ihm benachbarten bewegt werden kann. Die Regel, welche dagegen die Anordnung von zwei- und mehrgelenkigen beherrscht, ist vorerst noch unbekannt.

8. Besondere Muskelgruppen. Eine Besprechung der Leistungen aller einzelnen an das menschliche Skelet gehefteten Muskeln wird man nach dem Vorhergehenden nicht mehr erwarten. Wir beschränken uns demgemäss auf einige Andeutungen über die Anordnung der Muskeln in den grossen Abtheilungen des Skelets.

a. Kiefermuskeln. Die Oeffner des Kiefers sind dünne und möglichst lange Muskeln, ihr Ansatz geschieht in möglichster Entfer-

nung vom Drehpunkte des Gelenkes. Einer von ihnen (digastricus öffnet den Kiefer allein, ein anderer (latissimus colli) Kiefer und Lippen gleichzeitig.

Im direkten Gegensatz zu ihnen stehen die Kieferschliesser. Ihr Querschnitt ist möglichst gross; darum ist für die oberen Ursprungspunkte noch der proc. zygomaticus über die Schläfenfläche gespannt und die fossa pterygoidea interna gebildet und für die untern der Kieferast emporgeschoben; die Schliessmuskeln sind ferner möglichst kurz und setzen sich darum an einen kurzen Hebelarm aber unter einem für die Wirkung auf die Zähne sehr günstigen Winkel an.

Die Vorwärtszieher endlich sind zum Theil Schliessmuskeln (pterygoideus internus und masseter) zum Theil stellen sie eine eigne kräftige Masse den m. pterygoideus externus dar, welche durch seinen Ansatz an den Kopf und den meniscus beide gleichzeitig nach vorn auf das tuberculum zieht.

Rückwärtszieher beim Eröffnen des Kiefers sind mm. geniohyoideus und digastricus, und beim Schliessen m. temporalis.

b. Kopfmuskeln. Bei der Stellung des Kopfes über dem Rumpf war es, unter Voraussetzung einer allseitigen Beweglichkeit, nothwendig, dass er auf ein schmales Statif, den Hals aufgestellt wurde. Die Länge dieses letzten wird ungefähr bestimmt durch die Grösse des Neigungswinkels, welchen die kleine Kopfgelenke zulassen, den Umfang, welcher der Oeffnungsbewegung des Kiefers zukommt und den Abstand der Kiefer und Hinterhauptspitze von der queren Gelenkachse des ersten Kopfgelenks. — Ed. Weber weist darauf hin, dass die Leichtigkeit der Kopfbewegung sehr begünstigt werde durch die Aufstellung der schweren Masse auf Condylen von geringer Ausdehnung. — Der Kopf ist beweglich entweder für sich oder zugleich mit der Wirbelsäule, so dass er auch Stellungsveränderungen in seinen Verbindungsgelenken mit der Wirbelsäule gleichzeitig mit denen der Halswirbel unter sich erfahren kann. — Die reine Kopfbewegung zwischen Atlas und Hinterhaupt bewirken nach vorn und hinten mm. recti capitis antici und postici; die nach den Seiten mm. rectus capitis lateralis und obliquus superior; beide Muskelmassen sind klein und wirken an kurzen Hebelarmen. Die Drehung in der Horizontalebene besorgen mm. obliquus inferior und rectus posticus major.

Die Combination der Hals- und Kopfbewegung wird ausgeführt 1) durch ein System von schieflaufenden sich kreuzenden Fasern. Zu diesen gehören in der einen Richtung m. sternocleidomastoideus, die obere Partie des m. cucullaris, mm. complexus und biventer, welche von den vordern und seitlichen Theilen des Rumpfs respektive der Wirbelsäule nach hinten und innen zum Kopf laufen; in entgegengesetzter Richtung durch m. splenius, welcher von der hintern Mittellinie des Halses kreuzend mit den vorigen gegen den Seitentheil des Kopfes dringt.

2) Durch drei grade Muskeln, von denen einer (rect. capitis long. anticus) beugt, ein anderer den Kopf gegen die Schulter neigt (trachelomastoideus) und ein dritter (das innere Stück des biventer) streckt.

Die Ansatzpunte der Muskel an dem Kopf liegen demnach vorzugsweise am Ende zweier unter einem rechten Winkel sich kreuzender Hebelarme, die den beiden oben erwähnten Achsen des Hinterhauptgelenkes parallel gehen; ihre Endpunkte werden dargestellt durch den processus mastoideus einerseits und durch protuberantia occipitalis und pars basilaris anderseits. Insofern sie auf das Kopfgelenk allein wirken sind demnach mm. splenii und sternocleidomastoidei, Rotatoren und Seitwärtsbeuger, mm. cucullaris, complexus und biventer Rotatoren und Strecker; der Mangel der entsprechend kräftiger Beuger erläutert sich daraus, dass der Schwerpunkt des Kopfes nach vorn von dem Unterstützungspunkte gelegen ist.—

c. Muskeln der Wirbelsäule. Sie sind, wie Ed. Weber zuerst bemerkte, nach demselben Plan angelegt, der bei der Construktion der Hals- und Kopfmuskeln angewendet ist. Zunächst ist durch die rückwärts beugenden mm. interspinosi; die seitwärts beugenden mm. intertransversarii und die drehenden mm. multifidis ein Apparat gegeben, vermittelst dessen, unabhängig von allen andern, ein einziger Intervertebralknorpel in seiner Lage verändert werden kann. Dann kann durch ein System gekreuzter und durch zwei Systeme gerade verlaufender Fasern immer eine grössere Abtheilung der Wirbelsäule gleichzeitig bewegt werden. Zu diesen letztern Wirbelsäulemuskeln und zwar zu den am Rumpf gekreuzten Spiralen zählen die mm. semispinales, obliqui abdominis, quadratus lumborum, intercostales, sternocostales; man sieht ein Theil derselben (mm. obliquus externus, quadratus lumborum, intercostales externi) laufen im Sinne des m. sternocleidomastoideus, ein anderer (m. obliquus intern, intercostales intern.) in der Richtung des m. splenius. Die Richtung der obern Lage der einen Seite ist die Fortsetzung der tiefern der andern Körperhälfte. Die äussersten Punkte dieser Muskelflächen wirken, indem sie sich an das Becken und die Rippen ansetzen, an langen Hebelarmen. In ihrer Wirkung auf die Wirbelsäule unterstützen sich jedesmal je zwei Lagen, die je nach der Art der Wirkung bald die gleichseitigen und bald die ungleichseitigen sind. Diese Muskeln greifen aber auch auf die Athmungs- und Darmentleerungsbewegungen ein; sie werden in dieser Beziehung an den betreffenden Orten noch erwähnt werden. — Die geraden Muskelzüge werden hinten aus dem m. sacrolumbaris mit seinen Ausläufern den mm. sacrocostalis, colli ascendens, longissimus dorsi, colli transversalis, sacrospinalis, vorn durch die mm. rectus abdominis und longissimus colli dargestellt. Aus demselben Grunde wie am Kopf, ist die Muskelmasse an der hintern Seite stärker als an der vordern; zudem wirkt

m. rectus abdominis auch noch an einem längern Hebelarm als der sacrolumbaris. —

d. Muskeln des Brustgliedes. Die Stellung des Armes auf den Seitenflächen des höchsten Theiles der Brust, die ihm durch die clavicula gesichert ist, gibt ihm den freiesten Spielraum der Bewegung und überträgt zugleich den Endeffekt der Bewegung der untern Gliedmaasen und die des grössten Theils der Wirbelsäule auf ihn. Die doppelte Gegenwart des Arms vermehrt die Vielfachheit der gleichzeitigen Bewegungsrichtung und den Umfang des von dem Brustglied umspannbaren Raumes; ihre symmetrische Stellung zur Wirbelsäule bedingt eine der Ortsbewegung dienliche Vertheilung der Körperlast und führt zugleich zur Bildung der sogenannten Schultern, d. h. zu Flächen, die, weil sie senkrecht gegen die Längsrichtung der Wirbelsäule stehen, besonders geeignet sind, die von der letztern ausgeübten Stosskräfte auf fremde Körper zu übertragen.

Der Arm selbst, ein mehrfach gebrochener Stab, kann je nachdem er sich streckt oder beugt, oder je nachdem sein freies Ende unter oder neben seinen Aufhängspunkt fällt, Last- oder Geschwindigkeitshebel werden, unter der Voraussetzung, dass die Last an der Hand und die Kraft am Schultergelenke wirkt Die Hand endlich, eine Platte, welche in einzelnen Stäben endigt, stellt eine nach allen Richtungen verbiegbare Fläche dar, die namentlich mittelst der Finger zum Haken, Stift, Ring u. s. w. sich umgestalten kann. Die ausserordentliche Beweglichkeit des ganzen Gliedes ist neben einer verhältnissmässig grossen Festigkeit dadurch erzielt, dass eine vielfache Zahl von Stücken auf einander eingelenkt sind, von denen jedes folgende auf dem vorhergehenden nur wenig beweglich und namentlich um so weniger beweglich ist, je kleiner die Berührungsflächen beider Stücke sind. Es multipliziren sich demgemäss die einzelnen Bewegungen; so kann z. B. das Oberarmbein durch seine Einlenkung auf dem beweglichen Schulterblatt alle Bewegungen, die es im Schultergelenk zu erfahren im Stande ist, an allen Stellungen bewerkstelligen, die das Schulterblatt selbst einzunehmen vermag; ein Gleiches gilt von dem Vorderarm gegenüber dem Oberarm u. s. w. Aus diesem Grund war es auch, ohne der Beweglichkeit Eintrag zu thun, erlaubt, die jenseits des Oberarmkopfs liegenden Gelenke nur nach einer oder nach zwei Richtungen hin zusammenknickbar zu machen, nach der andern dagegen so zu steifen, dass z. B. die Handfläche mit den Fingern ein steifes Brett, Oberarm und Vorderarm eine feste Stange in der Streckung darstellen.

Ueber die Muskelordnung an der obern Extremität lässt sich folgendes Allgemeine mittheilen. 1. Das Muskelfleisch, welches auf der Streckseite der Gelenke liegt, die nur bis zur graden Linie gestreckt werden können, verschmilzt zu einer Sehne, die entweder nur ein Gelenk übergreift (humerus-ulna) oder sogleich über mehrere geht

(Phalangen). 2. Jedes Gelenk, mit Ausnahme der sehr nahe zusammengelegenen Carpal- und der beiden letzten Phalangengelenke ist durch Muskelfleisch beweglich, welches sich nur über dasselbe ausspannt; zugleich aber ist es mit Muskeln überzogen, welche bei ihrer Zusammenziehung jedesmal gleichzeitig das Nächstvorhergehende oder Folgende in Bewegung setzen. Demgemäss ist mit Beziehung auf die Ansatzpunkte die Muskulatur der obern Extremität zu zerfällen: In Muskeln vom Rumpf zum Schultergürtel und vom Rumpf zum Oberarm; in Muskeln vom Schultergürtel zum Oberarm und vom Schultergürtel zum Unterarm; in Muskeln vom Oberarm zum Radius und vom Oberarm zur Ulna und vom Oberarm zur Hand; in Muskeln von der Ulna zum Radius und von beiden Knochen zur Hand und endlich von der Hand zu den Fingern und von dem Unterarm zu den Fingern. Von diesen beiden Muskelgruppen ist in vollkommener Ausbildung nur die kurze, eingelenkige vorhanden, indem sie jedesmal Muskelfasern nach so viel Richtungen enthält, als das Gelenk Bewegungen zulässt. Diese vollständige Anwesenheit der eingelenkigen Muskeln bedingt öfter noch eine besondere Bildung der um das Gelenk liegenden Knochensubstanz; so musste z. B. um für die Bewegung nach drei rechtwinklig einanderschneidenden Achsen Muskeln zu gewinnen, das Schulterblatt als eine Platte auftreten, auf der eine zweite unter einem Winkel aufgesetzt ist. (Acromion). Ihre vollkommene Ausbildung bringt das schon bei der Knochenzusammensetzung der oberen Gliedmassen erwähnte Prinzip zur Vollendung dadurch, dass nämlich die Beweglichkeit des Stützpunktes die Beweglichkeit des aufsitzenden Knochens multiplizire, denn da die Ansatzpunkte der Muskulatur eines auf einem beweglichen Stücke sizzenden Gelenkes mit der Bewegung desselben selbst ihre Lage verändern, so wird die Bewegung des Gelenkes vollkommen unabhängig von irgend welcher besondern Stellung des beweglichen Grundstückes. — Diese eingelenkige Muskelgruppe ist nun aber nicht allein vollkommen vorhanden, sondern oft sind einzelne Glieder derselben doppelt gegenwärtig; so z. B. stellt der mittlere Theil des m. deltoideus dieselbe Richtung dar, welche m. supraspinatus zukommt; diese Muskeln unterscheiden sich aber in Bezug auf die Hebellänge an der sie bei feststehendem Schulterblatt am Oberarm wirken. — Die über zwei Gelenke hinausgehende Gruppe ist im Gegensatz zu der eben behandelten meist nur in wenigen Richtungen dargestellt. So gibt es, um ein Beispiel zu erwähnen, unter den Schulterblatt-Vorderarmmuskeln nur Heber (biceps) und Rückwärtszieher (langer Kopf des triceps) des Oberarms, dagegen sind die Rumpfarmmuskeln Abwärtszieher und Rotatoren, so dass erst die zwei Abtheilungen der zweigelenkigen Muskeln für das Oberarmgelenk alle Bewegungen geben. Der Grundsatz aus dem die Anordnung dieser Muskeln fliesst, liegt noch im Dunkeln. Besondere Vortheile, welche die Anwesenheit zweigelenkiger Muskeln ge-

währt, liegen jedoch auf der Hand. Denn einmal sind darum allmälige Uebergänge zweier Bewegungen in einander möglich (Ed. Weber) und zugleich wirken die Muskeln in Bezug auf das erste Gelenk, das sie überspringen, an Krafthebeln, indem sie sich möglichst entfernt vom Drehpunkt desselben ansetzen, und auf das zweite Gelenk an Geschwindigkeitshebeln, indem sie sich möglichst nahe an den Drehpunkt desselben anheften.

e. Bauchglied. Das ganze Glied zeigt in verschiedenen Stellungen eine sehr verschiedene Beweglichkeit. In der Streckung des Ober- und Unterschenkels und der mittleren Beugung des Fusses wie sie bei dem Stehen auf horizontalem Boden vorkommt ist es am unbeweglichsten; denn es verhindern in diesem Fall im Hüftgelenk das lig. superius eine weitere Streckung, das lig. teres und der durch den m. glutaeus maximus gespannte äussere Streifen der fascia lata Adduction. Das Kniegelenk wird steifer, weil die ligamenta lateralia in Spannung kommen und zugleich die mit einem grossen Krümmungshalbmesser begabten vordern Abschnitte der Kniegelenksfortsätze am Oberschenkel auf der ebenen Pfanne der tibia in ausgedehnterer Weise aufruhen. Im ersten Fussgelenk klemmt sich aber der astragalus ein.

Mit dieser Einrichtung und zugleich mit dem Tragen und Fortschieben der Rumpflast steht im Zusammenhang die Eigenthümlichkeit der Muskelvertheilung am Bauchglied, dass die Strecker der Hüfte, des Knies und des Fusses und ebenso die auf der Plantarseite des Fusses befindlichen Muskeln das Uebergewicht über die entgegengesetzt liegenden behaupten, und dass nur die Beuger des Kniegelenks zugleich Rotatoren desselben sind.

Die Einrichtung der ein- und zweigelenkigen Muskeln kehrt wie am Arm wieder und in dieser Einrichtung ist abermals die Bestimmung, dass die eingelenkigen alle einem Gelenke möglichen Bewegungsrichtungen enthalten. Am Hüftgelenk überwiegen die eingelenkigen an Querschnitt die zweigelenkigen weit aus, am Knie umgekehrt die zweigelenkigen die eingelenkigen.

Aufrechtes Stehen; Gehen.

Obwohl es streng genommen ausserhalb der Grenzen eines Lehrbuchs der reinen Physiologie fällt, auch noch die komplizirten Bewegungen des Skelets und seiner Muskeln zu besprechen, so werden wir doch noch ganz übersichtlich die in der Ueberschrift bezeichneten mühsam erworbenen Kunstfertigkeiten behandeln, und zwar darum, weil dabei einige wesentlichen Eigenschaften der Bauchglieder besonders hervortreten. Das Sitzen, Laufen, Schwimmen, Reiten, Tanzen u. s. w. schliessen wir dagegen vollkommen aus.

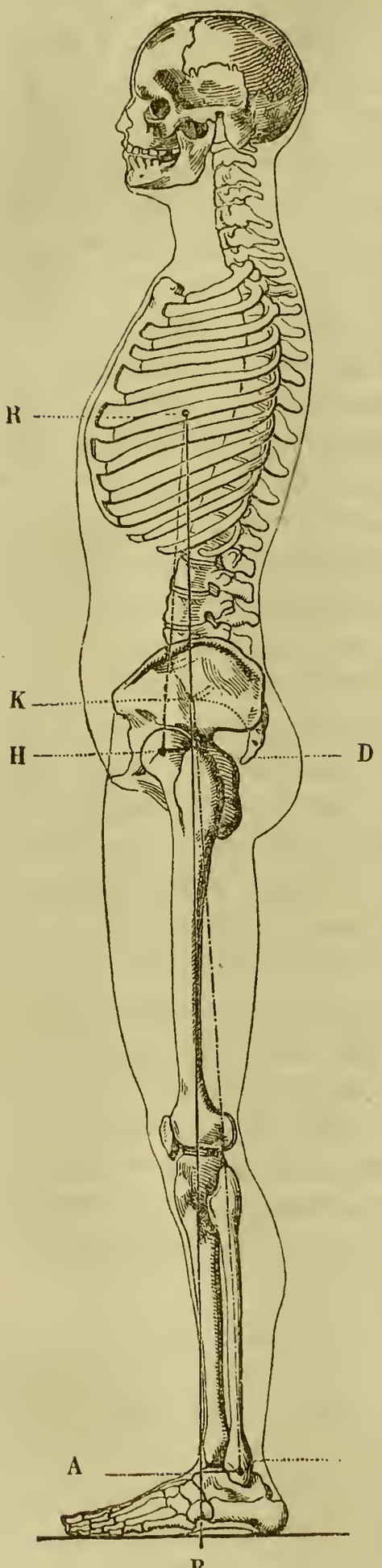
A. Aufrechtes Stehen. Die allgemeinsten Bedingungen desselben sind erfüllt, wenn der Schwerpunkt unseres Körpers in den Raum

fällt, welchen die auf dem Boden aufstehenden Füsse umschliessen, und die zwischen dem Rumpf und dem Boden liegenden Hüft-, Knie- und Fussgelenke hinreichend gesteift sind, um ein Abgleiten der Gelenkflächen von einander zu verhüten. Diese letztere Bedingung kann in Erfüllung gebracht werden entweder allein durch eine Wirkung der Muskeln, oder vorzugsweise durch eine Gegenwirkung zwischen Bandmassen und der Schwere des Rumpfes; je nachdem das eine oder das andere dieser Hülfsmittel in Anwendung gebracht ist, kann das Stehen kürzere oder längere Zeit ertragen werden, mit andern Worten erscheint uns dasselbe ermüdend oder bequem. Da das erstere auf eine ganz willkürliche und mannigfach veränderliche Weise hervorgebracht werden kann, so verzichten wir auf seine Darstellung und fassen nur das bequeme Stehen in das Auge. Die Mittheilungen, die hier darüber gegeben sind, folgen den Untersuchungen von H. Meyer.

1. Lage der Schwerpunkte des Rumpfes und des Gesammtkörpers. Schwerlinie. Von einer konstanten Lage des Schwerpunktes am Rumpf kann natürlich keine Rede sein, da das Gewicht seiner einzelnen Abtheilungen, wie namentlich das der Unterleibseingeweide einem fortlaufenden Schwanken unterworfen ist, da ferner seine einzelnen Theile sich gegeneinander bewegen können, und insbesondere die an seinen Enden angebrachten Fortsätze, die Arme und der Hals, sehr verschiedene Stellungen einzunehmen vermögen. Die allgemeine Angabe über die Lage des Schwerpunktes müsste sich also auf die Grenzen beziehen, innerhalb deren sie wechseln kann. Diese sind uns aber nicht bekannt; wir wissen nur aus einem von Ed. Weber untersuchten Fall, dass der Schwerpunkt des Rumpfes, d. h. des menschlichen Körpers mit Ausschluss der Beine, in der Höhe des Schwertfortsatzes zu suchen ist, vorausgesetzt, dass die Arme am Leib herabhängen und die Wirbelsäule gestreckt ist. Die Lage des Schwerpunktes unseres Gesammtkörpers (des Rumpfes und der Beine) ist aber begreiflich eine andere als die des Rumpfschwerpunktes. Nach einer Beobachtung von Ed. Weber fällt die letztere in das Promontorium. Diese Lagen der Schwerpunkte des Rumpfes sowohl als des Gesammtkörpers setzen wir in dem Folgenden als gültig voraus.

Die Beobachtung eines ruhig stehenden Menschen lässt nun erkennen, dass eine senkrechte Linie, welche vom Schwerpunkt gegen den Boden gezogen wird, in den Raum zwischen beide Füsse fällt. Von dieser Senkrechten, der sog. Schwerlinie weichen nun aber die Verbindungslinien der Drehpunkte und Achsen aller oben genannten Gelenke merklich ab und namentlich verhalten sie sich nach Meyer in der Weise wie sie Fig. 126 angibt. Dieselbe stellt die Profilprojektion des menschlichen Körpers mit eingezeichneten Knochen dar; in ihr bezeichnet *R* den Schwerpunkt des Rumpfes; seine Lage in dieser Ansicht ist bestimmt durch die nicht unwahrscheinliche Annahme,

Fig. 126.



dass er annähernd in den geometrischen Mittelpunkt des horizontalen Rumpfdurchschnittes falle, wonach er in der Profilprojektion ungefähr in der Mitte einer Linie liegen würde, welche man von dem processus xyphoideus zur Wirbelsäule ziehen kann. *K* gibt den Schwerpunkt des Gesammtkörpers an, *H* den Drehpunkt des Hüftgelenkes, *A* das Ende der Achse des ersten Fussgelenks und endlich *RKB* die Schwerlinie. Diese letztre verläuft nun in der gegebenen Projektion zuerst hinter den Drehpunkt des Hüftgelenks. H. Meyer glaubt sich zu diesen Annahmen berechtigt, weil, wenn man bei einem bequem stehenden Menschen den Faden eines Senkels in die Mitte der Seitenfläche des Brustkastens anlegt, dieser hinter dem vorderen Rand des grossen Trochanters, der bekanntlich im aufrechten Stehen die Lage des Drehpunktes für das Hüftgelenk angibt, herfällt. Darauf trifft sie annähernd auf die Achse des Kniegelenks und zwar bald vor und bald hinter dieselbe und endlich konstant vor die Achse des ersten Fussgelenkes, jedoch noch immer in den Fuss.

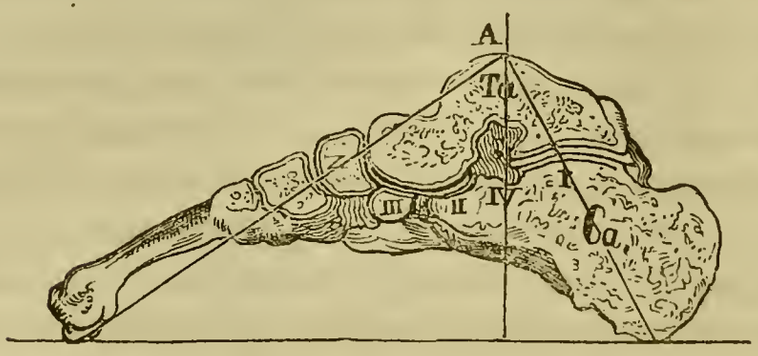
2. Steifung der Gelenke. a. Die Steifung des Hüftgelenkes geschieht gemeinschaftlich durch die Zusammenziehung mehrerer Muskeln, namentlich der nach auswärts rotirenden und des m. glutaeus maximus, dann durch die Spannung des ligamentum iliofemorale (lig. superius von Ed. Weber) ligam. teres, ligam. iliotibiale (das äussere Blatt der fascia lata) und die Schwere. Da den gegebenen Thatsachen zufolge die Schwerlinie des Rumpfes *RD* nicht auf sondern hinter den Drehpunkt fällt, so kann dieselbe mit Beziehung auf den letzten zerlegt werden in eine auf *H* senkrechte *RH* und in eine wagrechte *DH*. Der nach der Linie *RH* wirkende Antheil der Schwere wird durch den Drehpunkt unterstützt, die nach *HD* wirkende sucht dagegen den Rumpf auf den Schenkelkopf nach hinten zu drehen. Diesem letzteren Antheil von

der Gesammtkraft der Rumpflast wirkt nun die Spannung des lig. superius entgegen, so dass an diesem Band der Theil der Last, welcher von dem Oberschenkelkopf nicht getragen wird, geradezu hängt. Die Fixation in der Ebene, die auf die eben bezeichnete senkrecht steht übernimmt die gemeinschaftliche Wirkung der lig. teres, lig. iliotibiale und m. glutäus maximus. Dieser letztere streckt und adduzirt bekanntlich zugleich; seiner Streckwirkung stellt sich das lig. superius entgegen, während die Adduktion in bekannter Weise theils das lig. teres hemmt, theils aber das vom äusseren Beckenrand über den trochanter major zur tibia als eine starke Sehnenmasse hervortretende äussere Blatt der fascia lata. Die vollkommene Befestigung in dieser Stellung, bei welcher weder der Rumpf in einer von vorn nach hinten, noch in einer von rechts nach links gehenden Ebene fallen kann, geben endlich die Auswärtsroller, welche gleichzeitig die lig. superius und teres spannen. — b. Die Steifung des Kniegelenks ist gegeben: durch die in der Streckung grosse Berührungsfläche der entsprechenden Gelenkenden beider Knochen, durch die Zusammenziehung des vierköpfigen Strekkers, durch die Spannung der ligamta. iliotibiale, lateralia, cruciata und poplitaeum; das Zusammenwirken dieser Massen ist aus dem bekannten Mechanismus des Kniegelenkes für sich klar; hervorzuheben ist nur, dass das äussere Blatt der fascia lata (lig. iliotibiale) schon durch die Zusammenziehung des m. glutaeus maximus, der bekanntlich vorzugsweise in dieses Band sich einsetzt, in starke Spannung gebracht ist. Danach ist es nicht unwahrscheinlich dass an diesem Band, welches den Streckmuskeln entgegen wirkt, der Rumpf auf ähnliche Weise im Kniegelenk, wie am lig. iliofemorale im Hüftgelenk, hängt. — c. Die Steifung im Sprunggelenk wird besorgt durch die Schwere, durch die eigenthümliche Stellung der Sprungrolle in der Tibio-fibularpfanne, durch das Anpressen der Tibia gegen die Sprungrolle vermittelst des condyl. internus femoris, des ligam. laterale genu internum, poplitaeum und patellare und endlich durch die Auswärtsstellung beider Füsse. Da die Schwerlinie *KB* des Gesammtkörpers nicht senkrecht auf den Achsen der Sprungrolle steht, sondern vor dieselbe fällt, so kann die Wirkung der Körperschwere ihrer Richtung nach zerfällt werden in die auf die Sprungrolle senkrechte *KE* und die wagrechte *AE*. Diesem letzten Antheil der Schwere, der den Rumpf nach vorn zu drehen strebt, kann nun keine Folge geleistet werden, und zwar zunächst wegen der gegenseitigen Lage, die den Flächen der beiden Sprungbeine zukommt. Denn wenn die beiden Unterschenkel gestreckt und damit einander parallel gestellt sind, so schneiden sich die Achsen der beiden Sprunggelenke in einem nach hinten offenen und darum ihre Flächen in einem nach vorn offenen Winkel, so dass eine gleichzeitige Beugung des Unterschenkels auf beiden Rollen unmöglich ist. Zudem kommt aber auch der Fuss beim Stehen in eine solche

Stellung gegen den Unterschenkel, dass der hintere schmale Theil der Sprungrolle in der Gelenkfläche ruht; ist also ein Mechanismus vorhanden der die beiden Unterschenkelknochen in dieser Lage scharf gegen die Rollen anpresst, so wird ebenfalls die Beugung, bei welcher der breitere Theil des Astragalus in die Gelenkhöhle treten müsste, unmöglich. Dieses Zusammenpressen der Knochen wird aber gegeben durch eine Drehung der Tibia um die Fibula, welche jedesmal eingeleitet wird, wenn das Knie sich streckt, und zwar durch das Hervortreten des langen condylus internus femoris, das ligam. laterale internum und poplitaeum und den schiefen Ansatz der Kniestrecker gegen die tuberositas tibiae. Unwahrscheinlich ist es dagegen dass die mm. gastrocnemii noch betheiligt sind bei dem Mechanismus, welcher das Vorwärtswerfen des Unterschenkels verhütet; ihre Verwendung würde wenigstens, da sie zugleich das Knie beugen, sehr unvortheilhaft sein. Kommt überhaupt eine Muskelkraft bei der Steifung des ersten Fussgelenkes in Frage, so dürften nur die vom Unterschenkel zum Fuss laufenden Muskeln, mm. tibialis posticus, peronaei postici und soleus von Bedeutung sein.

3. Stellung des Sprungbeins auf dem Fussbogen. Das Sprungbein *A* Fig. (127) stüzt sich am ergiebigsten auf das Fersenbein mit zwei Flächen *I*, *II* zwischen welchen der bekannte Hohlraum bleibt, ferner liegt es noch vorn auf der Hohlfläche des Kahnbeins und dem ligam. calcaneonaviculare. Dieser Lage und Stellung gemäss überträgt es den grössten Theil des auf ihm lastenden Gewichtes gegen das Fersenbein und drängt zugleich, wegen der entgegengesetzten Richtung der gegen ossa calcanei und naviculare zugewendeten Flächen beide Knochen auseinander und zwar das Fersenbein nach hinten und aussen, das Kahnbein aber nach vorn und innen. Hiebei hemmen das lig. calcaneo naviculare *(III)* und der Apparatus ligamentosus *(IV)*, welche senkrecht anfeinander stehen, das Auseinanderweichen der drei Knochen.

Fig. 127.

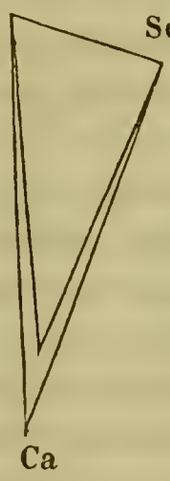


Der auf das Fersenbein fallende Antheil der Körperlast überträgt sich auf die Erde durch den Fersenhöcker, welcher beim Aufruhen des Fusses auf ebenem Boden nach aussen und hinten von der Mittelebene der Astragalusrolle liegt. Um diesen hinten gelegenen festen Punkt des Fersenbeins würde die vorn wirkende Last den vordern Fersenbeinfortsatz drehen, wenn er nicht vorn und innen durch das lig. calcaneonaviculare und aussen durch einen spitzen unter das Fersenbein dringenden Fortsatz des os cuboideum und das lig. calca-

neocuboideum getragen würde. Der dem os naviculare zukommende Lastantheil theilt sich durch das os cuneiforme prim. und metatarsi prim. und die zugehörigen Bänder den den Boden berührenden Sesambeinen mit, und ebenso geht der auf dem os cuboideum lastende durch os metatarsi quintum auf den Boden über.

Wegen der nach allen Seiten sich verbreitenden Spannung der Bänder kann der Fuss im Ganzen auch als ein Bogen angesehen werden der auf drei Punkten aufruht, deren gegenseitige Lage zu einander Fig. 128 angibt; *Ca* ist der aufruhende Punkt der Ferse, *Se* der desjenigen des Sesambeins und *MV* der des fünften Mittelfussknochens. Der Lastantheil, welchen jeder der drei Punkte zu tragen hat, kann im einzelnen Fall nach bekannten Regeln ermittelt werden, wenn die Neigung der Linie gegen den Horizont gegeben ist, die man ziehen kann von dem Ort, wo die Last den Fuss trifft gegen die genannten Berührungsstellen zwischen Boden und Fuss. Beispielsweise sind an dem Fussdurchschnitt Fig. 127 zwei dieser Linien *AB* und *AC* ausgeführt. — In Ermangelung genauer auf diese Frage bezüglicher Messungen ergibt der Augenschein, dass beim Stehen auf ebenem Boden die Ferse den grössten und der letzte Metatarsalknochen den geringsten Lastantheil unterstützt. Auf die Vortheile, welche für die Sicherheit des Stehens aus der Gegenwart dreier Stützpunkte jederzeit erwächst, braucht kaum aufmerksam gemacht zu werden. Ebensowenig ist hervorzuheben, dass durch die Rotation, welche entweder der ganze Fuss am os naviculare und cuboideum ausführt und durch die Bewegung des letzten Metatarsalknochens auf dem os cuboideum, die Möglichkeit gegeben ist, die drei Punkte gegeneinander und gegen verschiedene Bodenunebenheiten zu verschieben.

Fig. 128.



Ein besonderes Problem bietet die Frage über das Stehen auf den Ballen, auf dessen Lösung aber hier nicht eingegangen werden kann. Es soll hier nur erwähnt werden, dass wir bei gebeugtem und gestrecktem Fussgelenk auf einem oder mehreren Metatarsalköpfchen stehen können und dass, wenn das Stehen auf dem Ballen nur eines Fusses sicher sein soll, wir die Zehen gleichzeitig auf den Boden legen müssen, die sich dann dem Ballen gegenüber ähnlich verhalten als die Ballen der Ferse gegenüber, wenn wir auf dem ganzen Fusse ruhen.

B. Natürliches Gehen*). Unter ihm begreift man den Gang, durch den mit möglichst geringer Muskelanstrengung der Rumpf in einem gleichgrossen scheitelrechten Abstand vom Boden mit gleich-

*) Ed. u. W. Weber, Mechanik der Gehwerkzeuge. Göttingen 1836.

förmiger Geschwindigkeit nach horizontaler Richtung mittelst der Beine fortgeschoben wird. Bei den folgenden Darstellungen ist ein wagrecht liegender Boden vorausgesetzt.

Diese Bewegung erfordert, wie aus ihrer Definition hervorgeht, 1. eine Kraft, welche in senkrechter Richtung wirkend den Schwerpunkt des Körpers stützt; diese senkrechte Kraft muss genau so gross sein wie die Schwere des Rumpfs, weil ohne diese Bedingung der Rumpf steigen oder fallen würde; 2. eine Kraft, welche in horizontaler Richtung wirkend den Rumpf vorwärts schiebt, diese letztere Kraft muss in jedem Augenblick der Geschwindigkeit nach vorn einen gerade so grossen Zuwachs ertheilen, als in diesem durch den Luftwiderstand verzehrt wird, weil ohne diese Gleichheit der beschleunigenden und verlangsamenden Kräfte der Gang nicht gleichförmig geschwind ausfallen könnte.

Diese Bedingungen sind folgendermassen erfüllt. Der Rumpf wird zuerst von einem senkrecht unter seinem Schwerpunkt stehenden Beine unterstützt, im nächsten Moment verlängert sich dasselbe und schiebt, indem es sich gegen den unnachgiebigen Boden stemmt, den beweglichen Rumpf vorwärts; diese schief gegen den Boden wirkende Kraft (Stemmkraft) lässt sich in eine horizontale und eine senkrecht wirkende zerlegen und genügt also zunächst den aufgestellten Forderungen, aber nur für eine kurze Wegstrecke, so lange nämlich als das stemmende Bein aus der Verkürzung in die Verlängerung übergehen kann. Ist nun aber die Streckkraft dieses ersten Beins erschöpft, so tritt die des andern Beins in Wirksamkeit, welches nämlich bisher in der Luft schwebend an dem nach vorn geschobenen Rumpf gerade so weit nach vorn schwingt, um in der neuen Lage desselben wieder als Stütze des Schwerpunkts dienen zu können. Dieses zweite Bein übernimmt dann die Rolle des ersten.

Wir werden nun noch eine genauere Zergliederung der hier auftretenden Bewegungen geben. Wir gehen dabei von dem Augenblick aus, in welchem die Beine mit dem Boden in der Profilprojektion ein rechtwinkliches Dreieck darstellen, dessen Catheten durch die auf den Boden fallenden Verbindungslinien beider Beine und das den Schwerpunkt senkrecht unterstützende Bein dargestellt werden; ein Augenblick, der also gerade dann besteht, wenn die Streckkraft des einen Beins erschöpft und die des andern im Maximum möglich ist.

Das stützende, senkrecht stehende Bein muss in diesem Augenblick den Schwerpunkt des Körpers allein tragen; zu diesem Behufe muss derselbe nach der Seite dieses Beines geworfen sein. Nach H. Meyer geschieht dieses einfach dadurch, dass der Fuss im Sprunggelenk gebeugt wird. Denn da die Beugungsebene des Sprungbeins schief von innen und hinten nach aussen und vorn von der Mittelebene des Körpers geht, so muss durch diese Beugung das obere Ti-

bialende und damit der ganze Rumpf nach aussen, resp. auf die unterstützte Seite geführt werden. Ausserdem gilt für die Steifung der Gelenke alles das was beim Stehen mitgetheilt worden ist. Geht nun das Bein aus der unterstützenden in die stemmende Periode über, so muss es sich verlängern, weil ohne dieses der Rumpf nicht in horizontaler Richtung nach vorn geschoben und getragen werden könnte. Diese Verlängerung geschieht zuerst durch Streckung des Knies und dann des Fusses im Sprunggelenk, wodurch zugleich der Rumpf um die Länge des Fusses, indem sich derselbe vom Boden abwickelt, nach vorn geschoben wird. Hierauf wird eine noch weiterschreitende Verlängerung durch möglichste Streckung im Hüftgelenke bewerkstelligt. Hat damit das Bein das Maximum seiner Verlängerung erfahren,so hebt es sich um in dem nun folgenden Schwingungsakt keine Reibung zu erleiden, durch Beugung im Kniegelenk von Boden ab. Die Muskeln, die sich bei dem ganzen Akte betheiligen, sind mm. gastrocnemii und soleus zur Streckung des Fusses, die vierköpfigen Kniestrecker und die Hüftstrecker; am Schluss der Streckwirkung aber wiederum die mm. gastrocnemii zur Beugung des Knies. Nach Messungen der Gebrüder Weber beläuft sich der ganze Werth der Verlängerung des Beines um ungefähr $\frac{1}{7}$ derjenigen Länge, die es während des Stützens besitzt.

Als das erste eben betrachtete Bein sich in seiner grössten Verkürzung befand, hatte das andere seine grösste Länge erreicht und war in dem Augenblick als das erstere zum stemmenden wurde vom Boden abgehoben. Einmal abgehoben schwingt es nach vorn, aber nicht in Folge eines Muskelzuges, sondern einfach durch seine Schwere; es schwingt wie ein aufgehangenes Pendel, und zwar in der Richtung von innen und hinten nach aussen und vorn. Die Möglichkeit einer solchen Schwingung ist durch die aequilibrirte Aufhängung des Beins in der Pfanne gegeben, und der Beweiss für diese Art von Bewegung liegt darin, dass nach Messungen von W. Weber die Schwingungszeit am lebenden und todten Bein genau übereinstimmt und zwar gerade so viel beträgt, als die eines Pendels von der Länge des Beins und der ihm zukommenden Massenvertheilung.

Aus diesen Thatsachen ergeben sich nun alle auf die Schrittdauer und die Schrittlänge bezüglichen Folgerungen, die durch W. Webers genaue Messungen am gehenden Menschen bestätigt sind.

Die Schrittdauer ist einerseits abhängig von dem Zeitraum, in welchem beide Beine den Boden gleichzeitig berühren und anderseits von der Schwingungszeit des schwebenden Beins. Den ersten Punkt anlangend so unterscheidet sich bekanntlich das Gehen vom Laufen dadurch, dass im ersteren ein Zeitraum erscheint, in dem beide Beine auf dem Boden stehen, und im letztern ein solcher, in dem beide

schweben; die Grenze beider Ortsbewegungen oder das sogenannte schnellste Gehen ist also mit Rücksicht auf den vorliegenden Umstand gerade dann erreicht, wenn der Zeitraum des gleichzeitigen Auftretens Null wird, d. h. wenn das eine Bein den Boden im Augenblick verlässt, in welchem das andere auftritt. — Die Schwingungszeit des schwebenden Beins ist aber abhängig von dem Abstand der Schenkelköpfe vom Boden und der Zahl der Grade, welche die Schwingung des Beins umspannt. Je kürzer die Beine durch das natürliche Wachsthum oder je mehr sie angezogen sind, um so rascher werden sie dem Pendelgesetz gemäss ihre Schwingungen vollenden. Die Zahl der Grade, welche der Schwingungsbogen umfasst, findet ihren kleinsten Werth in dem Bogenabschnitt, der vollendet werden muss von dem Punkt an, wo das Bein vom Boden gehoben wird, bis zu dem, wo der Fuss senkrecht unter dem Schwerpunkt liegt, also von irgendwelcher Erhebung bis zur senkrechten Stellung des Beins. Beschränkt sich dasselbe auf diesen Schwingungsumfang, mit andern Worten auf eine halbe Pendelschwingung, und schwingt nicht noch unnützer Weise jenseits des angegebenen vorderen Grenzpunktes, so wird es damit für einen gegebenen Stand der Schenkelköpfe die kleinstmögliche Schwingungsdauer erreichen.

Die Schrittlänge ist abhängig von der Länge des abgewickelten Fusses und ferner für alle durch Wachsthum gleichlange Beine, von dem senkrechten Abstand zwischen dem Schenkelkopf und dem Boden, in dem Augenblicke wo die Streckung des Beins beginnt. — Der erste Punkt ist von selbst klar, und der zweite wird es sogleich, wenn man bedenkt, dass die Verlängerung des Beins um so mehr der horizontalen Bewegungsrichtung zu gute kommt, je niedriger die Schenkelköpfe stehen.

Eine Combination der über Schrittdauer und Schrittlänge gegebenen Mittheilungen ergibt, dass das schnellste Gehen, d. h. die grösste Schrittlänge und kleinste Schrittdauer möglich wird, wenn die Schenkelköpfe möglichst niedrig getragen werden, was mit der täglichen Erfahrung übereinstimmt.

In den Kreis unserer Betrachtung müssen nun noch die Bewegungen und Stellungen gezogen werden, in welche der Rumpf und die Brustglieder beim natürlichen Gehen gerathen. Zuerst ist hier zu bemerken, dass der Rumpf, den der Luftwiderstand stetig in seiner Bewegung von hinten nach vorn verzögert, unwillkürlich beim Gehen nach vorn geneigt wird, und zwar um so beträchtlicher, je rascher die Gangbewegung ist. Zweitens bewegt sich der Rumpf nicht vollkommen in einer horizontalen Ebene, sondern sinkt am Ende der stemmenden Wirkung eines Beins um ein Weniges, wird aber dann durch das als Stütze eintretende Bein wieder gehoben. Drittens endlich wird auch dem Rumpf eine kleine Drehung mitgetheilt durch das schwingende

Bein, welches den Rumpf in einer horizontalen Ebene um den feststehenden Schenkelkopf des andern Beins zu rollen sucht. Diese Wirkung wird aber aufgehoben durch gleichgehende Bewegung des Armes der entgegengesetzten Seite und entgegengesetzt gehende Bewegung des gleichseitigen Armes. Aus diesem Grunde bewegt sich der Arm auf der Seite des schwingenden Beins in einer diesem entgegengesetzten Richtung, während der anderseitige Arm gleiche Schwingungsrichtung darbietet.

Die geringe Ermüdung unserer Muskeln, die beim natürlichen Gang eintritt, und die es uns möglich macht, das Gehen weit längere Zeit hindurch zu ertragen, als das Stehen, erläutert sich vorzugsweise durch die Ruhe, welcher die Beine wechselnd hingegeben werden; indem das jedesmal schwingende Glied, von der Luft getragen, ohne Muskelanstrengung nach vorn bewegt wird.

Inwiefern die seitliche Symmetrie des Körpers von wesentlichem Einfluss auf die Regelmässigkeit des Ganges ist, und wie die Assymetrie des Skelets zwischen hinten und vorn die Bewegung nur nach einer Richtung hin vorzugsweise bedingt, ist bei E. H. Weber*) nachzusehen.

Stimm- und Sprachwerkzeuge.

Mittelst willkürlich beweglicher Organe sind wir im Stande, auf die mannigfaltigste Weise Töne zu erzeugen; unter diesen möglichen Tonwerkzeugen sind aber nur die von hervorragendem Interesse, welche in den Schling- und Athemapparat eingefügt sind.

Stimme**).

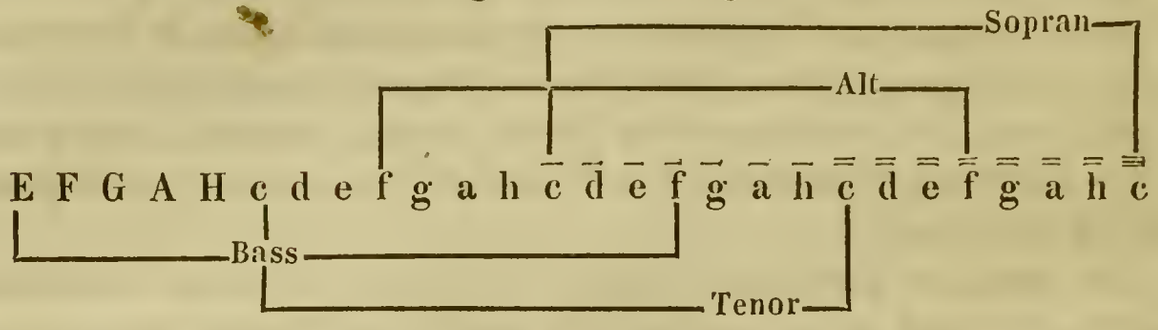
1. Musikalische Eigenthümlichkeiten der Stimme. Die Stimme, welche im Kehlkopf erzeugt wird, gestaltet sich rücksichtlich ihres Umfangs, ihrer Reinheit und ihres Klanges, vorausgesetzt, dass sie durch die aus den Athemwerkzeugen strömende Luft erzeugt wird, folgendermassen:

a. Der Umfang der Menschenstimme, d. h. der Abschnitt der Tonleiter, welchen der menschliche Kehlkopf erzeugt, umfasst drei und eine halbe Oktave; im Mittel hat ihr niedrigster Ton 80 ganze Schwingungen in der Sekunde = E, und ihr höchster 992 ganze Schwingungen. In diesen Gesammtumfang theilen sich nun die einzelnen Individuen in der Art, dass eine gute Einzelstimme zwei bis zwei und eine halbe Oktaven beherrscht. Indem man Rücksicht auf die Tonhöhe der Ein-

*) Hildebrandts Anatomie 4. Aufl. 1. Bd. 125.

**) J. Müller, Handbuch der Physiologie II. Bd. 133. — Liscovius, Physiologie der menschlichen Stimme. Leipzig 1846. — Rinne, das Stimmorgan etc. Müllers Archiv 1850. — Longet traité de Physiologie I. Bd. 3. Heft 1852. — Ueber die hier nicht besprochene Stimme beim Einathmen siehe Liscovius l. c. p. 50 u. Segond, Compt. rend. XXVI. Bd.

zelstimmen nimmt, unterscheidet man Bass, Tenor, Alt, Sopran. Nach ganz bekannten Angaben theilen sich diese Einzelstimmen in die menschliche Tonleiter der folgenden Tafel gemäss.



Bass und Tenor sind das Eigenthum der männlichen, Alt- und Sopran das der weiblichen Stimme, so dass die tiefe weibliche Stimme ungefähr um eine Oktave höher beginnt als die tiefe männliche, und die hohe weibliche um eine Oktave höher endigt als die hohe männliche.

Einzelne Bässe gehen noch viel tiefer herunter als hier angegeben; so erwähnt man Sänger, welche noch das $\underline{\underline{F}}$ mit 43 (ganzen) Schwingungen erzeugen konnten. Knaben- und Castratenstimmen sollen öfter bis zum $\overline{\overline{f}}$ emporsteigen. Ganz ausgezeichnete individuelle Stimmen gebieten über 3, ja in ganz seltenen Fällen über $3\frac{1}{2}$ Oktaven.

b. Klang. Die menschliche Stimme ist zahlloser Klangarten fähig; man kann geradezu behaupten, dass jedes Individuum sich durch einen besondern Klang der Stimme auszeichnet. Aber in dieser unbeschreiblichen Mannigfaltigkeit des Klanges der menschlichen Stimme überhaupt charakterisirt sich im Allgemeinen doch wieder die männliche von der weiblichen Stimme durch eine besondere Tonfärbung, und innerhalb der männlichen und weiblichen ist wiederum der Tenor vom Bass und der Sopran vom Alt durch einen eigenthümlichen Klang unterschieden. Nicht minder ist die Stimme eines Individuums sehr zahlreicher Modifikationen ihres Klanges fähig. Von den verschiedenen Stimmarten des Individuums sind aber nur wenige dem musikalischen Ohr so wohlgefällig, um in der ausübenden Tonkunst verwendet zu werden. Die verwendeten Klangarten (Register) haben die gemeinsame physiologische Eigenthümlichkeit, dass sie schon von den wesentlichen Theilen des menschlichen Stimminstruments hervorgebracht werden. Man belegt diese einzelnen Register (welche also den verschiedenen weiblichen Stimmen ebenso gut zukommen als den männlichen) mit dem Namen der Brust- und Kopf- oder Fistelstimme. — Die Brustst imme charakterisirt sich durch einen vollen, starken Klang; ihren Namen hat sie daher erhalten, dass bei ihrer Erzeugung die Brustwandungen in ein der aufgelegten Hand fühlbares Erzittern gerathen. Die Fistelstimme zeichnet sich durch eine flötenartige weiche Tonfärbung aus. Alle Töne, welche ein Individuum hervorbringen kann, vermag dasselbe übrigens nicht mit Brust- und Fistelstimme nach Belieben zu erzeugen. In das Gebiet der Brustst imme

fallen jedesmal die tiefern, in das der Fistel die höhern Noten, und nur wenige Töne, welche auf der Grenze zwischen Brust- und Fistelstimme gelegen sind, können nach Belieben in beiden Registern angegeben werden. Der Unterschied zwischen Fistel- und Brustklang ist beim Weibe weniger ausgeprägt als beim Manne. —

c. Stärke der Stimme. Sie ist sehr verschieden, im Allgemeinen aber bei Individuen mit kleinem Brustkasten und wenig geräumiger Mundhöhle schwach. Ausserdem können jedesmal die tiefsten Töne, die ein Individuum hervorzubringen vermag, nur schwach angegeben werden, während die höchsten nur sehr laut ansprechen. Das allmälige Anschwellen eines Tones, sein Gang vom piano zum forte oder umgekehrt, ist der menschlichen Stimme möglich, aber nur mit Schwierigkeiten und nach einer besonderen Erziehung derselben.

d. Reinheit der Stimme. Man versteht hierunter bald die Reinheit des Klangs, ihre Befreiung von schwirrenden Geräuschen und dann auch wieder das Vermögen, den Ton von gewünschter Höhe zu treffen. Im erstern Sinn wechselt sie bei demselben Individuum nach der Lebensweise und dem Lebensalter beträchtlich; gewissen Lebensperioden ist sie vollkommen versagt; z. B. dem Greisen- und Säuglingsalter, der Zeit, in welcher vorzugsweise die Geschlechtsentwicklung stattfindet; nach starken Erhitzungen, während bestehender Katarrhe in der Rachenhöhle und in dem Kehlkopf, nach starken Anstrengungen der Stimme ist die Reinheit getrübt. Im zweiten Sinne ist die Reinheit der Simme keine angeborne, sondern eine anerzogene Eigenschaft, wie sogleich daraus erhellt, dass ein Individuum mit mangelhaft ausgebildetem Gehör niemals eine reine, die Noten treffende Stimme gewinnt, selbst wenn seine Stimmwerkzeuge sich auch der höchsten Vollendung erfreuen.

2. Methoden, um die einzelnen Theile des Stimmapparates auf ihre musikalischen Leistungen zu prüfen.

a. Nach dem bahnbrechenden Vorgange von Joh. Müller benutzt man zur Ermittlung des Antheils, den die einzelnen Gebilde an der Erzeugung der Stimme nehmen, den todten ausgeschnittenen Kehlkopf. Zu diesem Zweck richtet man sich ihn auf verschiedene Weise vor, je nachdem man nur den Kehlkopf für sich oder zugleich auch die Mundwerkzeuge mit in den Kreis der Untersuchung ziehen will. — Im ersten Fall trennt man den Kehlkopf vom Zungenbein, dem Kehldeckel und der Speiseröhre und schneidet ihn darauf auch von der Luftröhre ab, jedoch so, dass noch ein längeres Stück derselben mit ihm in Verbindung bleibt. Dann entfernt man auch vorsichtig die oberen Stimmbänder, so dass man bequem die oberen freien Flächen der unteren Stimmbänder sehen und mit Bequemlichkeit einen belastenden Körper z. B. einen Messerstiel auf sie führen kann. Bei dieser Operation muss aber die Schleimhaut, welche die mm. arytenoidei transversi überzieht, vollkommen erhalten bleiben. Nachdem man den Kehlkopf sorgfältig gereinigt hat, bindet man das ihm anhängende Luftröhrenrudiment auf ein weites rechtwinklich gebogenes Glasrohr und befestigt den ganzen Kehlkopf und zwar am besten dadurch, dass man die cornua superiora der cartilag. thyreoidea in einen Halter klemmt, wie sie in physikalischen und chemischen Laboratorien gebräuchlich sind. Dann schlingt man jederseits

um den Processus muscularis der cartil. arytenoidea einen dreifachen Faden; einer derselben liegt in der Richtung des m. thyreoarytenoideus; zur bequemen Handhabung desselben führt man ihn auf die vordere Fläche der cartil. thyreoidea durch eine Oeffnung, die man jederseits über die Mitte des Ansatzpunktes von m. thyreoarytenoideus gebohrt hat. Von den beiden andern Fäden legt man den einen nach der mittlern Faserrichtung des m. cricoarytenoideus lateralis und die andere nach der Richtung des m. arytenoideus proprius. Diese Fäden sucht man, indem man sie über eine feststehende Rolle führt, in den bezeichneten Richtungen festzuhalten, so dass man dann durch ein angehängtes Gewicht die Stimmritze in jede den Muskelwirkungen entsprechende Form bringen kann. — Andere Arten des Aufhängens und der Vorbereitung des Kehlkopfes siehe bei Joh. Müller*) und Liscovius**). — Verwickelter wird die Vorbereitung des Kehlkopfs, wenn man ihn untersuchen will, während der Schlundkopf, die Mund- und Nasenhöhle noch mit ihm in Verbindung sind. Da zudem die aus dem Versuch mit einem solchen Kehlkopf gewonnenen Thatsachen höchst zweifelhafter Natur sind, so mag die Beschreibung desselben hier unterbleiben. — Hat man nun mittelst der Fäden die Stimmritze in die zum Tonangeben nöthige Form gebracht, so bläst man eine mit Wassergas gesättigte Luft, am besten geradezu die Ausathmungsluft eines lebenden Menschen, durch das Rohr. Wenn es dem Beobachter von Bedeutung ist, die Spannung zu kennen, welche die tonerzeugende Luft besitzt, so wird es noch nothwendig, seitlich in das anblasende Rohr eine heberförmig gebogene Glasröhre, wie sie zum Druckmessen gebräuchlich ist, einzufügen, und einen Theil ihres auf- und absteigenden Schenkels mit Wasser oder Quecksilber zu füllen. Man sollte auf den ersten Blick denken, dass diese Vorrichtung vollkommen genüge, um nicht allein über die Leistungen des Kehlkopfs, sondern über die Stimmbildung überhaupt ins Klare zu kommen; denn es scheint, als ob man sich, untergeordnete Abweichungen bei Seite gesetzt, den Stimmapparat vor Augen gelegt und so zugänglich gemacht habe, dass man durch successive Veränderung der einzelnen Abtheilungen desselben die Funktion einer jeden bestimmen könne. — Bei genauer Betrachtung ergeben sich aber doch wesentliche, und was noch mehr, gar nicht zu berechnende Abweichungen von den natürlichen Verhältnissen. Denn einmal ist überhaupt die Elastizität der Weichtheile wesentlich verändert, wie sich sogleich daraus ergibt, dass in den Bändern die Elastizität in einem Zusammenhang steht mit ihrer Temperatur und der Menge von eingesogener Flüssigkeit, in den Muskeln aber zudem noch abhängig ist von den Lebenseigenschaften und namentlich davon ob der Muskel noch erregbar, todtenstarr oder schon gefault ist. Diese Abweichung der Elastizität wird die Folge mit sich führen, dass der Klang sich vollkommen ändert, dass die Züge, welche die Bänder auf gleichen Spannungsgrad bringen sollten, im Leben und im Tod verschieden stark sein müssen und endlich, dass dieselben Luftstösse nicht dieselben Intensitäten und Zahlen der Schwingungen erzeugen werden. — Eine noch bedeutendere Abweichung des präparirten vom lebenden Kehlkopf liegt aber darin, dass in dem ersten nicht allein accessorische Werkzeuge entweder ganz ausfallen, oder wenigstens die durch Muskelwerkzeuge erzeugbare Veränderung in der Spannung noch vorhandener Hilfswerkzeuge zum Verschwinden kommt. Nun wirken aber bekanntlich in vielen Instrumenten die resonnirenden Theile wesentlich mit zur Bildung der Tonhöhe. Ob der Stimmapparat zu dieser letzteren Art von Instrumenten gehöre, kann darum am todten Kehlkopf nicht entschieden werden und begreiflich nützt die Erhaltung der Luftröhre, des oberen Stimmbandes, des Kehldeckers u. s. w. am todten Kehlkopf nichts, wenn man nicht gleichzeitig auf eine dem Leben entsprechende Weise die Volumina der in diesen Räumen enthaltenen Luft und die Spannungen ihrer Wände zu ändern im Stande ist. — Diese Abweichungen so gross sie

*) l. c. p. 185.
**) l. c. p. 14.

sind, genügen aber nicht um wie Longet und Masson wollen die Untersuchung der Leistungen des todten Kehlkopfs vollkommen zu verwerfen; im Gegentheil scheint es unter allen Umständen nöthig, die Untersuchungen über die Stimme mit der isolirten Betrachtung aller einzelnen stimmerzeugenden Werkzeuge und somit auch des wichtigsten derselben zu beginnen. Es ist eines der zahlreichen grossen Verdienste von Joh. Müller um die Experimentalphysiologie diese Wahrheit erkannt und in vortrefflicher Weise ins Leben geführt zu haben.

b. Man macht den Kehlkopf am lebenden Thiere zugänglich und zwar entweder nach Longet *) dadurch, dass man die Kiefer von Hunden und Katzen sehr weit sperrt und die Zunge weit genug hervorzieht um die Stimmritze zu sehen, oder indem man durch Einschnitte im Kehlraum den Kehlkopf zu Tage legt und ihn mannigfach verstümmelt, während man die Thiere durch Schmerzerzeugung zum Schreien bringt. Die letzte dieser beiden Beobachtungsmethoden ist noch sehr zu vervollkommnen, namentlich dadurch dass man die Luftröhre durchschneidet und in ihr Kehlkopfende ein Rohr zum Anblasen anbringt, während man auf Mittel denkt einzelne Muskeln beliebig in Erregung oder Ruhe versetzen zu können.

c. Man beobachtet die äusserlich sichtbaren Theile der Stimmwerkzeuge des Menschen während sie verschiedene Tonhöhen geben, und endlich

d. Bildet man auch auf künstliche Weise Instrumente nach, mit dem allgemeinen Charakter der menschlichen Stimmwerkzeuge. Auch dieser vielversprechende Weg ist noch weiter zu betreten als bisher geschehen.

3. Orte der Stimmerzeugung. Die ursprünglich tönenden Stellen des menschlichen Stimminstrumentes sind die unteren Stimmritzenbänder und die durch ihre Spalte dringende Luft. Den Beweiss für diese Annahme liefern mannigfaltige Thatsachen am lebenden und todten Kehlkopf. Denn: jede Durchschneidung oder Texturveränderung (Anschwellung u. s. w.) verändert am Lebenden die Stimme oder hebt sie auch ganz auf, während durch keine andere Verletzung der Rachenhöhle oder Luftröhre die Möglichkeit der Stimmbildung vernichtet wird. Ebenso gelingt es am todten Kehlkopfe mittelst eines durch die Stimmritze geblasenen Luftstroms noch einen dem menschlichen sich annähernden Ton zu erzeugen, so lange die unteren Stimmritzenbänder unverletzt in ihrer normalen Lage sich befinden, mag man den Kehlkopf auch sonst noch so sehr verstümmelt haben. Diese Fähigkeit des Kehlkopfes ist erloschen, wenn man an dem sonst unverletzten Kehlkopf die Stimmbänder ausgeschnitten hat. Ebenso wenig können aber auch die Bänder durch Anschlagen u. dergl., sondern nur durch Anblasen zu einem lauten, der menschlichen Stimmstärke entsprechenden Tone gebracht werden.

Nach dieser Erkenntniss ist es nun Aufgabe, die Bedingungen zu untersuchen, von denen im Kehlkopf die Tonbildung überhaupt, insbesondere die Höhe und der Klang der Töne abhängt.

4. Bedingungen zur Tonbildung überhaupt. a. Das Andringen eines einigermassen kraftvollen Luftstosses gegen die Stimmhäute; wir erschliessen dies, weil es uns nur beim Ein- und Ausathmen gelingt, einen Ton im Kehlkopf zu erzeugen, und auch diesen nur

*) l. c. p. 175.

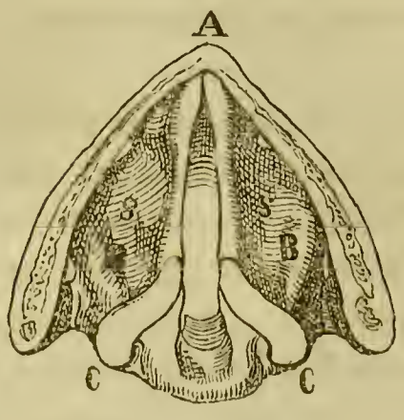
dann, wenn der hierdurch erzeugte Luftstrom gegen die Bänder andringt. Denn es ist die Möglichkeit, mittelst der Ausathmung eine Stimme zu erzeugen, verschwunden, wenn zwischen Lunge und Kehlkopf eine Oeffnung in der Luftröhre sich befindet, durch welche die aus der Lunge tretende Luft, ohne mit den Stimmbändern in Berührung zu kommen, entweichen kann. In Uebereinstimmung hiemit ist es, dass man durch Anblasen des todten Kehlkopfs von der Trachea her einen stimmähnlichen Ton erzeugen kann, keinen aber durch Anschlagen der Bänder. Der Apparat, welcher im Leben den Luftstoss erzeugt, ist der Brustkorb, dessen Bewegungen beim Athmen beschrieben werden sollen.

Cagniard-Latour*), dem die seltene Gelegenheit wurde, einen Menschen mit einer Luftröhrenfistel so weit zur Verfügung zu haben, dass er mit der Luftröhre einen Druckmesser verbinden konnte, gibt an, dass die Spannung der Luft in der Trachea das Gleichgewicht hielt einer Wassersäule von 945 MM. Höhe, wenn der Kranke seinen Namen laut ausrief; von 160 MM. wenn er einen mittleren Ton sang; von 200 MM., wenn der Ton, ohne lauter zu werden, hoch stieg. Ein todter Kehlkopf verlangte nach J. Müller zum Anspruch tiefer Töne im Piano 13 bis 26, zu demjenigen hoher Töne im Fortissimo 80 bis 135 MM. Wasserdruck.

b. Die Bandmasse muss eine möglichst vollkommene Elastizität besitzen. Die Bänder bestehen bekanntlich aus elastischem Gewebe, auf welchem eine dünne Schleimhaut mit einem Pflasterepithelium (H. Rheiner) aufsitzt. Verlieren dieselben entweder, wie diess häufig während des Lebens geschieht, durch Infiltration ihrer Schleimhaut mit wässerigen Flüssigkeiten, oder, wie oft am todten Kehlkopf vorkommt, durch Austrocknen, ihre Elastizität, so geht die Stimme verloren.

c. Die Flächen und Kanten der Bänder, welche die Stimmritze umgrenzen, müssen frei sein. Eine geringe Belastung, namentlich der obern Flächen, mit Schleim stört die Stimmbildung auffallend. —

Fig. 129.



d. Die Stimmbänder müssen in die besondere Stellungen gebracht sein, bei welchen sich die sogenannte Stimmritze bildet. Um diese letztere herzustellen ist in die Stimmbänder ein eigenthümlicher Mechanismus eingefügt. — Jedes der beiden Stimmbänder, welche man besser Stimmhäute nennen würde, (siehe Fig. 129) entspringt bekanntlich von der concaven Kante der cart. thyreoidea *A* und heftet sich dann an den innern obern Rand der

*) L'institut. janvier 1838.

cartilago cricoidea *B B* fest und zwar von dem äussern Rand des ligament. cricothyreoideum medium bis zur innern Seite der Gelenkfläche für die cart. arytenoideae *C C*. In den hintern innern Winkel dieser Stimmbänder ragt ein gebogenes Knorpelstück, der proc. vocalis der cart. arytenoidea hinein, welches bei seinen Bewegungen die Hautfalte auf mannigfaltige Weise biegen kann und namentlich so, dass ihre Fläche bald den Kanal des larynx mehr oder weniger normal schneidet, bald dass sie sich annähernd den Kanalwandungen parallel stellt. — Die Biegungen, welche hier vorkommen können, werden bestimmt durch die besondere Art der Gelenkverbindung zwischen cart. arytenoidea und cricoidea und durch drei Muskelpaare von denen sich zwei an den proc. muscularis und das eine an den proc. vocalis ansetzen. — Die Basis der cart. arytenoidea reitet immer auf dem obern Ende der abschüssigen Kante, durch welche die Platte in das schmale Stück der cart. cricoidea übergeht in der Art, dass der Giesskannenknorpel leicht nach vorn und hinten sich überbiegen und nach rechts und links drehen kann, wobei bald die beiden process. musculares bald die process. vocales schief in die Höhe gerichtet sind oder bald die einen oder die andern mit ihren freien Enden gegen die Mittellinie des Kehlkopfs sehen. In keinem Fall aber können sich die mittleren Theile des Knorpels selbst nähern, eine Bewegung, welche sowohl durch die Form der Gelenkflächen, und die zwischen beiden liegenden Knorpelstücke als auch durch die Bandverbindungen gehindert wird. — Die Muskeln bewirken immer bei ihrer Verkürzung folgende Stellungen der Stimmhäute. Die mm. cricoarytenoidei postici. ziehen die proc. musculares mit ihren freien Enden nach innen und unten, in Folge dessen steigt der proc. vocalis nach aussen und oben; im Maximum der Wirkung wird hierbei die Stimmmembran fast vollkommen verstrichen, so dass keine spaltförmige Verengerung, keine sogenannte Stimmritze sondern eine breite rautenförmige Oeffnung zwischen den freien Rändern der Stimmmembranen bleibt. Bei dieser Stellung kann niemals eine Stimme erzeugt werden. — Die mm. cricoarytenoidei laterales ziehen bei ihrer Verkürzung die proc. musculares nach aussen und unten, in Folge dessen treten die Spitzen der process. vocales nach oben und nach innen bis zur gegenseitigen Berührung; hierbei wird der Theil der Stimmhaut, welcher eingeschlossen ist vom vordern Rand des proc. vocalis, der cartil. cricoidea und thyreoidea nach innen und oben gebogen, so dass sich nun die freien Ränder der Stimmhäute von dem process. vocalis bis zur concaven Kante der cart. thyreoidea an einander lagern; der zwischen ihnen bleibende Spalt ist die Stimmritze. Die Ränder der Stimmhäute aber, welche eingeschlossen sind zwischen der hintern Grenze der proc. vocales und der höchsten Stelle der Ringplatte, weichen zur Bildung einer dreieckigen Oeffnung, der Athemritze, auseinander. Auf

einem senkrechten Schnitt erscheinen die freien Ränder der Stimmritze abgerundet. — Die mm. thyreoarytenoidei endlich ziehen die proc. vocales nach vorn, innen und unten; hierdurch werden die Stimmhäute in ähnlicher Weise wie vorher bis zur Berührung ihrer freien Ränder gegen einander geführt, jedoch mit der Modification, dass diese Letzteren nicht abgerundet, sondern mit stark ausgeprägten vorspringenden Lappen versehen sind.

Diese beiden letzten Stellungen sind es, welche sich zur Bildung der Stimme nothwendig erweisen. Die Stimme spricht nun aber, wie aus Versuchen am todten Kehlkopf hervorgeht, beim Durchblasen von Luft um so besser an, je mehr zugleich die mit dem Namen der Athemritze bezeichnete dreiseitige Oeffnung zwischen den hintern Rändern der proc. vocales geschlossen ist. Dieser Verschluss scheint auf zwei Arten möglich, durch die mm. thyreoarytenoidei und arytenoidei proprii. Bei der Wirkung der mm. thyreoarytenoidei legen sich die vorderen abgestumpften Spitzen der proc. vocales sehr innig zusammen, viel inniger als bei der Wirkung der mm. cricoarytenoid. laterales und drängen zugleich einen Theil des die Athemritze umkleidenden Bandstreifens in dieselbe, so dass deren Oeffnung schon sehr geschmälert wird; vollkommen geschlossen kann sie werden, wie es scheint, durch die aufrecht stehenden Stücke der cart. arytenoideae, wenn sie nach einwärts und vorn gezogen sind, eine Bewegung, die ihnen durch die mm. thyreoarytenoidei gleichzeitig mit der Stellung der Stimmritze mitgetheilt wird. — Wird dagegen die Stimmritze gebildet durch die Wirkung der mm. cricoarytenoidei laterales, so bleibt der dreieckige Raum unverschlossen, und zu seiner Verschliessung könnten dann möglicherweise mm. arytenoideus transversus und obliquus helfen, durch welche die aufrecht stehenden Aeste (nicht aber die Basen) der cartil. arytenoideae einander genähert werden; bei dieser Annäherung wird wahrscheinlich eine Schleimhautfalte vorgeschoben, welche wie ein Pfropf in die Oeffnung dringt. —

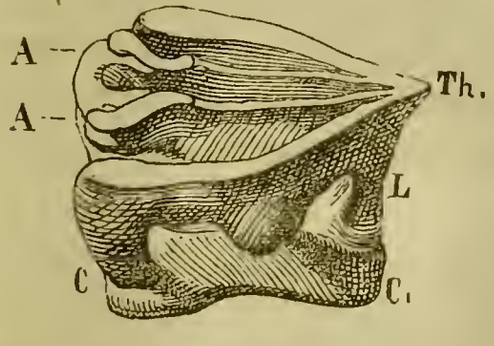
Ueber die Form, welche die Stimmritze im lebenden Zustand beim Tonangeben besitzt, besteht nach Beobachtungen an Menschen, deren Stimmritze durch zufällige Verletzungen bloss gelegt war, die übereinstimmende Angabe, dass dieselbe einen linienförmigen Spalt darstelle; Mayo, Rudolphi. Nach Beboachtungen an Thieren soll die vordere Stimmritze, d. h. die Oeffnung zwischen der cart. arytenoidea und der cart. thyreoidea bei Hunden eine elliptisch und bei Katzen eine geradlinig begrenzte Spalte darstellen. Dabei soll der dreieckige Raum zwischen den cartilag. arytenoideis bald geschlossen sein und bald offen stehen, je nachdem die Thiere mehr oder weniger laut schreien; Magendie, Longet. — Der todte Kehlkopf des Menschen verlangt zur Ansprache eine Stellung der eigentlichen Stimmbänder, bei welcher die

zwischen ihnen bleibende Ritze eng ist, während der hintere dreieckige Raum so gut wie vollkommen geschlossen sein muss; J. Müller.

Rudolphi, Mende, Mayo, Bell etc.*) zeigten an lebenden Menschen deren Stimmhäute durch eine Verwundung des Kehlkopfs blosgelegt waren, und Magendie durch Versuche an Thieren, dass beim Stimmangeben die Stimmbänder zur Bildung einer Stimmritze sich nähern müssen; Kempelens (ibid) Behauptung, dass die Stimmritze nicht breiter als eine Linie sein dürfe, wenn ein Ton entstehen solle, bestätigte J. Müller durch Untersuchungen am todten Kehlkopf in so fern er zeigte, dass ein Luftstoss, der durch eine beträchlich erweiterte Stimmritze fährt, ein blasendes Geräusch aber keinen Ton erzielt. Ferner lehrte J. Müller, dass das Stimmorgan ungewöhnlich schwer anspricht, wenn die Athemritze offen geblieben, seien auch sonst die Stimmhäute noch so günstig gelagert. — R. Willis**) machte darauf aufmerksam, wie es wohl nicht genügen möchte, wenn überhaupt die Bänder sich zur Bildung einer Spalte zusammenlegen, sondern dass die Bandränder, die die Spalte einschliessen, eine besondere Form besitzen müssen. — Die Mechanismen zur Bildung der Stimmritze sind übrigens ausserordentlich mangelhaft untersucht. —

e. Zu den Bedingungen, unter denen ein Kehlkopf Töne erzeugen kann, gehören ferner bestimmte Grenzen von Spannung in den Stimmhäuten. Uebersteigt ihr Spannungsgrad dieselben, so spricht, selbst wenn alle andern Umstände noch so günstig, der Ton nur sehr unvollkommen und schreiend an; befindet sich der Spannungswerth dagegen unterhalb derselben, so wird nur ein undeutliches Brummen möglich. — Die Einrichtungen aber und Umstände, durch welche die Stimmhäute in ihrer Spannung verändert werden können, sind verschiedener Natur. — *α*) Es können die Stimmhäute durch Vergrösserung oder Verringerung der Entfernung zwischen cartil. thyreoidea und der cart. arytenoidea in ihrer Länge verändert und damit verschiedentlich gespannt werden. Zur Veränderung der genannten Entfernung tragen zwei Muskelpaare bei, in dem sie (Fig. 130) die cartilago thyreoidea um ihr Gelenk bei *C* drehen, und zwar verkürzen die mm. thyreoarytenoidei den genannten Abstand, während die mm. cricothyreoidei ihn vergrössern. — Eine mittlere Stellung der cart. thyreoidea wird endlich durch das lig. cricothyreoideum *L* gegeben. Ein Theil dieses Spannungsapparats die mm. cricothyreoidei nemlich kann begreiflich in Wirksamkeit treten, mag die Stimmritze durch die mm. cricoarytenoidei laterales oder durch die mm. thyreoarytenoidei gestellt sein; im letztern Fall, wo den mm. cricothyreoidei Antagonisten entgegentreten, wird dann nur die Differenz der gerade verwendeten Kräfte beider Muskelpaare der Längenausdehnung der Stimmhäute zu Gute kommen, so dass also wenn mm. cricothyreoidei überwiegen die mm. thyreoarytenoidei die Stellung aber nicht die Span-

Fig. 130.



*) Magendie's Physiologie ed. Heusinger I. 243.
**) Magendie l. c p. 265.

nung der Stimmhäute ihrer Länge nach bestimmen. Ob sich hierbei die nach aussen gelegenen Theile der Stimmhäute weniger spannen als die nach innen gelegenen (Rinne), bedarf noch weiterer Untersuchung.

β. Die Stimmhäute können durch seitlichen Druck mittelst der Platten des Schildknorpels eine Spannungsveränderung erfahren. Der tiefe Einschnitt (von oben nach unten) an der Kante des Schildknorpels und die geringere Dicke (in der Richtung von vorn nach hinten) desselben an der Kante machen es möglich, dass die freien hintern Enden von einer verhältnissmässig geringen Kraft gegenseitig genähert werden können. Diese Möglichkeit wird realisirt durch ein Fascikel des m. thyreocricoideus, welcher von der cart. cricoidea entspringt, nachdem diese schon in den von den Platten der c. thyreoidea umschlossenen Raum getreten ist, welches also von innen nach aussen und zudem ein weniges von unten nach oben und von vorn nach hinten läuft. Diese Bewegung verschmälert um ein geringes die Breite des Stimmbandes (?).

γ. Auf die Stimmmembranen ist der m. thyreoarytenoideus so aufgelagert, dass er als ein integrirender Theil derselben angesehen werden muss, namentlich erstreckt er sich der Art über die ganze Breite der Membranen, dass er nur einen sehr schmalen Theil des freien Randes unbedeckt lässt. Dieser schmale Theil, das Stimmritzenband der Anatomen, scheint sich als Sehne gegen die mm. thyreoarytenoidei zu verhalten, indem es den Anschein hat, als ob die Muskelfascikel, welche schief gegen den freien Rand treten, hier an der elastischen Masse endeten. Demgemäss dürfte der m. thyreoarytenoideus abgesehen von anderen Wirkungen dadurch von Bedeutung werden, dass er durch seine Zusammenziehung die Dimensionen (das Verhältniss der Länge zur Dicke) und den Elastizitätscoeffizienten der schwingenden Massen ändert. Ob aber der Muskel auch noch durch Spannungen einzelner Abtheilungen des freien Randes einen Einfluss auf den Steifigkeitsgrad der ganzen Membran gewinnen kann, bleibt dahingestellt. —

δ. Schliesslich können die Stimmhäute noch durch einen Luftstrom, der sie von der Luftröhre her trifft, in Spannung versetzt werden; durch denselben werden die in der Ruhe ebenen Stimmhäute nach oben in den ventriculus Morgagni hineingewölbt. Der Umfang dieser Wölbung wird wachsen mit dem Druck, unter welchem die Luft strömt und mit der Entfaltung der Stimmhaut vor dem Querschnitte der Luftröhre; diesem letztern Umstand gemäss wird alles Andere gleichgesetzt, der Luftstrom von grösserer Wirksamkeit werden, wenn die Stimmritze durch die mm. thyreoarytenoidei, als wenn sie durch die mm. cricoarytenoidei laterales gestellt ist, weil dann die Stimmhäute dem spannenden Luftstrom mehr Fläche darbieten. In der That sieht man auch am todten Kehlkopf die Stimmhäute durch einen gleichstar-

ken Luftstoss sich viel beträchtlicher wölben, wenn man ihnen die Stellung gegeben, wie sie ihnen durch eine Contraktion des m. thyreo-arytenoideus zukommt, als dann, wenn man sie nach der durch die mm. cricoarytenoidei laterales bewirkten Art gestellt hat.

Als Bezeichnungen, welche den Funktionen gemäss den Kehlkopfsknorpeln zu geben wären schlage ich vor, die cart. cricoidea Grundknorpel, die cart. thyreoidea Spannknorpel und die cart. arytenoideae Stellknorpel zu nennen.

f. Endlich soll die Anwesenheit des ventriculus Morgagni nothwendig sein, wenn ein Ton analog demjenigen, den ein unverletztes, lebendes Stimmorgan hervorbringt, erzeugbar sein soll. Ueber diesen Punkt bestehen jedoch entschiedene Controversen; nach Longet kann ein Thier, nachdem man seinen Kehlkopf gerade über dem untern Stimmbande durchschnitten hat, nur noch mit ausserordentlich starken Bewegungen des Brustkastens, wie sie der heftigste Schmerz erzeugt, einen schwirrenden Ton hervorbringen, selbst bei noch so günstiger Stellung der Stimmritze. Brachte er dagegen ein passendes Kautschouckrohr über die Stimmbänder, als Ersatz des ventric. Morgagni, so wurde auch bei geringen Pressungen der im thorax enthaltenen Luft wieder ein Ton möglich, ähnlich dem normalen des Thieres. — Im vollkommenen Widerspruch hiemit ist die Beobachtung von Joh. Müller am todten Kehlkopf, der bei geringen Pressungen noch Töne nach Abtragen des ventric. Morgagni erzeugt. Uebereinstimmend mit diesen letzten Erfahrungen beobachtete auch Mayo noch an einem Menschen Stimmbildung, der sich gerade über den Stimmbändern mit Verletzung des einen der beiden, den Kehlkopf durchschnitten hatte.

5. Bedingungen für die Veränderung der Tonhöhe. — Zur Ermittelung der Veränderungen, welche das lebende Stimmorgan erfährt, wenn es von den tiefsten zu den höchsten seiner Töne aufsteigt, sind wir vorzugsweise angewiesen auf die Beobachtung des unverletzten Menschen, da sich nur selten Gelegenheit bietet einen Menschen mit freigelegter Stimmritze oder offener Luftröhre zu beobachten, und da es vorerst nicht zulässig erscheint die Ergebnisse der Versuche am todten Kehlkopf unmittelbar als bindend für den lebenden gelten zu lassen. — Entsprechend diesen unvollkommnen Beobachtungsmitteln können wir behaupten: a. Alles andere gleichgesetzt, steigt der Ton im Allgemeinen mit der Luftspannung in der Trachea, wie dieses nicht allein aus den mitgetheilten Beobachtungen von Cagniard-Latour, sondern auch daraus folgt, dass wir die höchsten der möglichen Töne nur im forte und die tiefsten nur im piano angeben können. — b. Die Stimmlage steht in Beziehung zur Grösse des Kehlkopfs und insbesondere zu seiner Ausdehnung von hinten nach vorn. Denn die Kinder und Frauen, deren Stimme höher als die der Männer ist, haben kleinere Kehlköpfe als die letztern; und unter den Männern gehören die kleinsten Kehlköpfe den Tenoristen. Leider sind bisher noch

nicht alle Dimensionen des Kehlkopfs gemessen; durch Joh. Müller ist bekannt, dass die Entfernung zwischen cart. thyreoidea und arytenoideae bei Männern zu derjenigen bei Frauen sich verhalte = 3 : 2. — c. Bei dem Steigen der Töne nähern sich die vordern Kanten der cartilagines thyreoidea und cricoidea; dieses fühlen wir wenn wir einen Finger sanft an den Ort des ligam. cricothyreoideum medium anlegen. Bei der eigenthümlichen Verbindung der beiden Knorpel bedeutet dieses aber nichts anderes, als dass hiedurch die untern Stimmritzenbänder und die Seitenwandungen der ventricul. Morgagni in der Richtung von hinten nach vorn gedehnt und in einen höhern Grad von Spannung versetzt werden. Nach Longet*) wird auch die Stimme der Hunde tief und rauh, wenn man ohne anderweite Verletzung den Nerven der mm. cricothyreoidei durchschneidet. Diese Rauhigkeit wird aufgehoben, wenn man die genannten Knorpel mit der Pinzette nähert. — d. Bei dem Emporgehen des Tones tritt der ganze Kehlkopf unwillkürlich in die Höhe, beim Sinken des erstern steigt dagegen der letztere herunter, so dass also der Halstheil der Luftröhre in dem einen Falle gespannt im andern erschlafft wird, und sich zugleich der Luftraum über den Stimmbändern bald verkleinert und bald vergrössert. — Begreiflich lässt sich nun aber weder aussagen, ob diese Veränderungen die einzigen sind, welche beim Tonwechsel an den Stimmorganen vorgehen, noch ob jede derselben von gleicher Wichtigkeit ist, da es uns nicht gelingt die einzelnen Vorgänge zu sondern.

Diese lückenhaften Thatsachen hat man durch Beobachtungen am todten Kehlkopf zu ergänzen gesucht; aus den mit ihm angestellten Beobachtungen geht hervor, dass an ihm die Tonhöhe abhängig sei a. von der Spannung der Stimmhäute, in der Art, dass mit dem Wachsthum der letztern die erstere steigt; b. von der Ausbreitung der Stimmhäute von rechts nach links und von hinten nach vorn und zwar so, dass die Töne sich erhöhen, wenn die Stimmhäute nach diesen Richtungen abnehmen (sich verschmälern und verkürzen). — Unabhängig ist aber die Tonhöhe von dem queren Durchmesser der Stimmritzöffnung, der Länge der Röhren, die an sein oberes und unteres Ende gesetzt würden und dem Spannungsgrad, welchen man den Wandungen dieser angesetzten Röhren mittheilte.

Die Versuche am todten Kehlkopf haben folgende Ergebnisse geliefert. — a. Longitudinale Spannung der Stimmhäute; Joh Müller. Man erzeugt dieselben analog der Wirkung der lebendigen mm. cricothyreoidei durch einen Zug, der von der vordern Fläche der cartil. thyreoidea gegen die cartil. cricoidea gerichtet ist. Der Ton erhöht sich bei steigender Spannung der Bänder, gleichgiltig ob die Stimmritze nach Art der mm. cricoarytenoidei laterales oder der mm. thyreoarytenoidei gestellt ist. Hiebei werden jedoch die tiefsten der möglichen Töne nur erzeugt bei der letztern Stellung, wobei die Bänder am meisten erschlafft werden können, während die höchsten der möglichen Töne nur in der ersteren Stellung zum Vorschein kommen. Der Unter-

*) Recherch. experim. sur les fonctions des nerfs etc. Gazette medic. 1841.

schied den beide Stellungen rücksichtlich der Tonhöhe herbeiführen liegt also darin, dass in dem einen Falle die Scala tiefer beginnt und früher endet, im andern aber höher anfängt und auch später schliesst. Eine Anzahl von Tönen können jedoch in beiden Stellungen hervorgebracht werden, so dass beide Scalen ineinander greifen. — Der Gesammtumfang der Töne eines erwachsenen Kehlkopfs beträgt über zwei Oktaven. Die Töne finden ihre Grenze nach der Tiefe hin früher als die mögliche Annäherung der cartil. thyreoidea und arytenoidea erreicht ist, und ebenso nach der Höhe hin ehe die möglichste Entfernung gegeben, indem über einen gewissen Grad von Ab- und Anspannung hinaus der Ton unrein, brummend oder schreiend, wird. — Der Entwicklung des Gesetzes der Abhängigkeit zwischen Tonhöhe und spannenden Gewichten setzen sich theils darum Schwierigkeiten entgegen, weil der durch das spannende Gewicht herbeigeführte Zug nicht einzig den Stimmbändern zu Gute kommt in Folge des Widerstandes anderer Theile, insbesondere der Gelenkbänder und Flächen und theils weil es nicht gelingt anzugeben, um wieviel der Luftstrom, welcher zum Anblasen gebraucht wird, die Spannung mehrt. Joh. Müller hat nun durch Versuche gefunden, dass immer nur ein Ton entsteht, wenn auch die beiden Bänder gleichzeitig besondere Stimmung haben; ferner, dass die Tonhöhe annähernd steige, wie die Wurzeln der spannenden Gewichte, so dass wenn man das Gewicht von 4 zu 16 erhöht die Schwingungszahl der Töne um das Doppelte zunimmt; keiner der von ihm untersuchten Fälle erreicht jedoch den verlangten Werth, indem niemals bei der beispielsweise angegebenen Gewichtsvermehrung die Oktave, sondern immer ein etwas tieferer Ton erscheint. — Die Stimmlage des todten Kehlkopfs ist im Allgemeinen etwas höher als die eines lebenden Stimmorgans von entsprechenden Dimensionen.

b. Durch Verkürzung der Stimmbänder kann, wenn auch ihre Spannung und die Stärke des anblasenden Luftstroms dieselbe bleibt, der Ton erhöht werden; diese Erhöhung ereignet sich also sogleich, wenn man bei sonst unveränderten Umständen den freien Rand des Stimmbandes mit einem festen Körper berührt, welcher Veranlassung zu Schwingungsknoten gibt. Auf diese Weise erklärt sich die dem früheren scheinbar widersprechende Beobachtung, dass bei möglichster Abspannung der Stimmhäute der Ton statt sich zu vertiefen höher wird; es hat nämlich in diesem Fall durch eine gegenseitige Berührung der Stimmhäute die Bildung von Schwingungsknoten stattgefunden; Joh. Müller.

c. Ebenso wird der Ton bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen erhöht, wenn man den angewachsenen Theil der Stimmhäute mit Gewichten beschwert, oder die Platte der cartilago thyreoidea zusammendrückt, so dass nicht mehr die Stimmhaut in ihrer ganzen Ausdehnung nach der Breite, sondern nur noch mit ihrem freien Rand schwingen kann; Liscovius. Durch das letztere der beiden Mittel gelingt es leicht den Ton um mehr als eine Octave zu erhöhen.

d. Verändert man weder die Stellung der Stimmbänder noch ihre spannenden Gewichte, steigert aber die Stärke des anblasenden Luftstroms, so erhöht sich der Ton; Ferrein. Das genauere dieses Abhängigkeitsverhältnisses ist nicht bekannt. Nach J. Müller kann man durch allmälige Steigerung des Anblasens in den Grenzen, wie sie dem Lebenden vergönnt sind, den Ton um eine Quinte erhöhen. Diese Tonsteigerung soll nach dem letzteren Autor davon abhängig sein, dass sich die Stimmbänder durch eine Wölbung in dem ventriculus Morgagni anspannen.

Der Beweiss, dass die Tonhöhe unabhängig steige und sinke von der Stimmritzenweite, ist auf einfache, selbstverständliche Weise zu erbringen. — Die Einflusslosigkeit der Länge und der Wandspannung der angesetzten Röhren stellt man nach Joh. Müller am einfachsten dar, wenn man an das Rohr zum Anblasen noch ein Stück menschlicher Luftröhre und ausserdem zwei ineinander schiebbare Röhren einsetzt; so kann man ein Stück Wandung an- und abspannen und das Ansatzrohr verkürzen oder verlängern. Diese Unabhängigkeit des Kehlkopfs und insbesondere diejenige von den Län-

gen der Ansatzröhren, versetzte denselben in eine Ausnahmsstellung zu den ihm verwandten Instrumenten. Denn an allen Zungeninstrumenten, die in ihrem schematischen Bau eine grosse Aehnlichkeit mit dem Kehlkopf darbieten, kann der ursprüngliche von der Zunge abhängige Ton durch allmälige Verlängerung der Ansatzröhren um eine ganze Oktave vertieft werden. Rinne, der nach der Ursache dieses eigenthümlichen Verhaltens forschte, fand, dass dann jedesmal eine Accomodation zwischen dem ursprünglichen Ton im Zungeninstrument und der mit ihm in Verbindung gebrachten umgrenzten Luftsäule fehlt, wenn die Zunge in der Weise in das angesetzte Rohr eingefügt wird, dass dieselbe dem Ausströmen der in der Röhre bewegten Luft keinen besonderen Widerstand entgegensetzt. Diese Accomodation fehlt also z. B. wenn der Spalt in welchem die Zunge schwingt im Verhältniss zu den Dimensionen der Röhre weit geöffnet ist, oder die Zunge auf sehr nachgiebigen Flächen schwingt. Diese Bedingungen scheinen nun an der Stimmritze, deren begrenzende Bänder als Zungen aufgefasst werden können, verwirklicht zu sein *)

Von hervorragendem Interesse für die Feststellung der Bedingungen, von welchen die Tonhöhe abhängig ist, würde, seine tadelfreie Ausführung vorausgesetzt, der Versuch von Liscovius sein, die Stimmbänder des lebenden Menschen mit einem anderen Gase, als der gewöhnlichen Ausathmungsluft anzublasen. Liscovius **) der den Versuch mit Wasserstoffgas, das er einathmete, unternahm, fand eine Veränderung der Tonhöhe seiner Stimme; leider ist aber der Versuch so angestellt zu unvollkommen, da man wegen der Nichtathembarkeit des Wasserstoffgases, dieses ohne zu ersticken nur in kleinen Quantitäten in der Lunge beherbergen kann. —

6. Zur Theorie der Tonbildung in dem Kehlkopf und insbesondere zur Bildung der Tonhöhe. Wenn die durch den Druck des Brustkastens in Strömung versetzte Luft der Lunge und der Luftröhre die Befähigung zum Tönen erhalten soll, so muss ihre ursprünglich gleichförmige Geschwindigkeit, wie sie dem constanten Druck der Brustmuskeln entspricht, in eine rasch veränderliche, periodisch steigende und fallende versetzt werden. Diese Umsetzung des gleichmässigen in einen unterbrochenen oder wellenförmigen Strom geschieht an der Stimmritze, vorausgesetzt, dass die Stimmhäute eine Stellung einnehmen, bei welcher sich ein beträchtlicher Theil ihrer Ausdehnuug senkrecht auf die Richtung des Luftstroms stellt; mit andern Worten eine Stellung, bei welcher ihre freien Ränder weit in das Lumen der Luftröhre ragen. In diesem Fall werden sie durch den anstossenden Luftstrom gegen den ventric. Morgagni hin bewegt werden und zwar so lange, bis die durch die Ausdehnung ihrer Masse erzeugte Spannung das Gleichgewicht hält der zuerst mitgetheilten Stosskraft. In dieser Stellung, welche resultirt aus dem Gleichgewicht des ursprünglichen Stosses und der elastischen Spannung, sind aber die Lippen der Stimmritze nicht mehr unter einem rechten Winkel gegen den Luftstrom geneigt, so dass die Summe der Drücke, welche ihre Fläche von Seiten der Luft erfährt, geringer geworden, und zugleich hat sich auch mit der Lagenveränderung der Stimmhäute die Grösse

*) Eine populare Darstellung der auf Zungeninstrumente bezüglichen Fundamente siehe bei Bindseil, Akustik. Potsd. 1839.; das hier Einschlagende p. 153 u. f.

**) l. c. p. 35.

der Stosskraft vermindert, da in der bezeichneten Stellung sich die Oeffnung der Stimmritze vergrösserte, womit sich auch die Spannung der Luft, in Folge des erleichterten Ausströmens verringert. Die gespannte Stimmhaut wird demnach keinen entsprechenden Widerhalt mehr von Seiten des Luftstroms finden und in Folge dessen sich wieder zurück gegen ihre ursprüngliche Lage hin bewegen; je mehr sie sich aber derselben nähert, um so günstiger wird sie sich wieder für den Empfang des Stosses stellen und um so mehr wird sie auch wieder die strömende Luft hemmen und spannen, so dass endlich wieder die sich entgegenwirkenden Stösse der Elastizität und des Luftdruckes das Gleichgewicht halten; da nun aber in dieser neuen Lage die Stimmhaut keine elastische Spannung mehr besitzt, so wird sie von Neuem durch den Luftstrom gegen den ventric. Morgagni geführt werden u. s. w. — Diese schwingende Bewegung der Stimmbänder führt nun eine abwechselnde Hemmung und Beschleunigung in den Luftstrom, der aus der Trachea in den ventriculus Morgagni dringt. Da aber dieser Luftstrom innerhalb des Kehlkopfs und ebenso über und unter ihm von mannigfach vorspringenden Wandungen umschlossen ist, so theilt er seine Stösse letztern mit, und da die Wandungen aus elastischen Stoffen gebildet sind, so werden sie durch diese Stösse in Schwingungen gerathen, welche die Periode der schwingenden Stimmritzenbänder einhalten. Die Bewegung, die im ersten Moment die Stimmritzenbänder allein ausführten, verbreitet sich somit alsbald auf den gesammten Kehlkopf, Luftröhre und Lungenwandung und dann wird auf gleichmässige Weise der ganze Luftinhalt dieser Gebilde erschüttert. Somit wird also im Allgemeinen nicht allein ersichtlich, dass der aus der Trachea dringende Luftstrom, eine bestimmte Stellung der Stimmritzenbänder vorausgesetzt, tönen muss, sondern dass er wegen vielfacher Resonnanz auch kräftig tönen muss.

Aber nur bis zu diesen Ableitungen, und nicht weiter führen uns die Thatsachen mit Sicherheit, und darum beginnt auch jenseits derselben sogleich die Controverse. — Diese erstreckt sich zunächst darauf, von welchen besondern Bedingungen die Tonhöhe oder die Zahl der Schwingungen in der Zeiteinheit abhängig sei. Eine Annahme, welche Joh. Müller vertritt, behauptet, dass sich der Luftstrom den Stimmbändern gegenüber verhalte, wie der Bogen gegenüber den Saiten eines Streichinstruments. Nach ihm ist nämlich die Zahl der Schwingungen einzig abhängig von dem Spannungsgrade der Bänder, so dass wenn dieser letztere unverändert bliebe, sich auch der Ton gleichbleiben würde, möchte die Stärke des Luftstroms auch noch so grossen Schwankungen unterworfen sein. — Dieser Behauptung traten früher Liscovius, bevor er sich zu der Müller'schen Ansicht bekehrte und neuerlichst Longet und Masson mit einer andern entgegen; den wesentlichen Bestimmungsgrund der Tonhöhe

finden sie in der Pressung, welche die Luft in der Stimmritze erfährt und in der Spannung, welche die mitklingenden Gebilde insbesondere die Wandungen des ventric. Morgagni besitzen. Nach ihnen steigert sich die Tonhöhe, wenn bei unveränderlicher Stimmbänderspannung und gleichbleibender Stimmritzenöffnung die Stärke des Luftstroms wächst, oder wenn bei gleichbleibender Stimmbänderspannung und unverändertem Luftstrom der Durchmesser der Stimmritzenöffnung abnimmt. Beide Annahmen, die Müller'sche und Masson'sche, sind weder zu beweisen noch zu widerlegen.

Von physikalischer Seite her sind beide Annahmen insofern unangreifbar, als durch beide sich die Möglichkeit der Bildung einer Stimme mit den Eigenschaften der menschlichen einsehen lässt. — Der Einwand, der sich der Hypothese von J. Müller entgegnen liesse, ob Häute von so kleiner Ausdehnung, wie die Stimmbänder befähigt seien eine so vollklingende und so ausgedehnte Tonreihe zu bilden, ist in der That widerlegt Denn es geben schon kleine Kautschoukplatten, wie sie J. Müller zur Construktion des schematischen Kehlkopfs anwendete, mehrere Oktaven, obwohl ihre Elastizität diejenige der Stimmbänder in keiner Weise erreicht. Denn diese letzteren haben nicht allein eine vollkommenere Elastizität, als ein durchfeuchteter thierischer Stoff, sondern es steigert sich ihr Elastizitätscoeffizient zugleich mit der Spannung, so dass diese bei einer sehr geringen Längenausdehnung des Bandes schon einen sehr beträchtlichen Werth besitzt. — Zur Begründung der andern Vorstellung hat Masson*) Versuche von Savart verfolgend, die akustischen Erscheinungen untersucht, welche ein Luftstrom bietet, der sich durch eine Oeffnung in einer Metallplatte drängt. Er fand a. dass wenn die Luft durch eine Oeffnung von beliebiger Form und Grösse tritt, der Strom hinter derselben jedesmal ein wellenförmiger wird, weil die Ränder der Oeffnung in eine schwingende Bewegung gerathen. b. Die durch diese Schwingungen erzeugten Töne, welche an und für sich sehr schwach sind, werden aber sehr voll, wenn man auf die Oeffnung ein Rohr von passender Länge aufsetzt, dessen Luft in Mitschwingungen geräth c. Der Ton, welchen eine bestimmte Oeffnung und ein bestimmtes Rohr geben, bleibt unverändert, wenn sich die Stärke des Luftstroms innerhalb enger Grenzen ändert, mit einer weitern Steigerung der Stromstärke erhöht sich der Ton. d. Jede noch so kleine Verbiegung der Ränder der Oeffnung oder der Platte, durch welche der Luftstrom tritt, verändert sogleich die Tonhöhe, welche derselbe Luftstrom vorher gab. e. Röhren mit häutigen Wandungen verstärken den Ton viel beträchtlicher, als solche von Holz und Metall; ist man im Stande den Wandungen wechselnde Spannungen zu ertheilen, so kann dasselbe Rohr, durch dieselbe Oeffnung angeblasen, die mannigfaltigsten Töne geben, und zwar steigt mit der Spannung der Röhrenwand die Tonhöhe. f. Ebenso ist ein beträchtlicher Tonwechsel möglich, wenn man innerhalb des Rohres die Grösse der mitschwingenden Luftsäule durch theilweise Verstopfung des Rohrs veränderlich machen kann. g. Die Drücke, welche der Luft mitgetheilt werden müssen, um an einem solchen Apparat Töne zu erzeugen, sind immer sehr niedrig. So erhielt Masson aus Oeffnungen von 2 bis 7 M. M. Durchmesser, die in Platten von 3 bis 5 M. M. Dicke gebohrt waren, eine Tonreihe, die neun Oktaven umspannte, während der Druck von 2 bis 100 M. M. Wasser wechselte.

Hält man nun die am todten und lebenden Kehlkopf aufgefundenen Thatsachen mit den Bedingungen und Anforderungen dieser beiden Vorstellungen zusammen, so passen sie mehr oder weniger für beide. So spannen sich z. B. in der That mit einem Steigern der Tonhöhe die Stimmbänder, wie es Müller verlangt, zugleich aber mehrt sich der Masson'schen Hypothese entsprechend die Spannung der resonnirenden

*) Recherches experim. sur le mouvement etc. Compt. rend. XXVI. 257.

Gebilde. — Ferner steigt mit der Stärke des Luftstroms, vorausgesetzt, dass der Contraktionsgrad der Muskeln derselbe blieb, die Stimme, wie es Masson verlangt, zugleich aber spannt auch der stärkere Luftstrom die Stimmbänder mehr an. Nach Longet soll die Stimme der Thiere nach Abtragung des Morgagnischen Ventrikels im wahren Wortsinn verschwinden, indem sie dann nur noch unter heftigen Anstrengungen einen einzigen explosiven Ton zu erzeugen vermöge; mit dieser Thatsache steht es aber in direktem Widerspruch, dass ein ausgeschnittener Kehlkopf des Menschen an dem man die oberen Stimmbänder abgetragen, noch zur Stimmbildung befähigt ist u. s. w.

Zur vollendeten Bestätigung der Ansicht von Joh. Müller, würde es nöthig sein, das empirisch gefundene Abhängigkeitsverhältniss zwischen Tonhöhe und spannenden Gewichten, als eine nothwendige Folge der eigenthümlichen Elastizität der Stimmbänder und ihrer besonderen Art der Aufhängung zu erweisen, und zugleich müsste allgemein gezeigt werden, dass sich die über und unter dem Stimmband liegende Luft und Bandmasse am lebenden Kehlkopf nicht wesentlich an der Erzeugung und Bestimmung der Tonhöhe betheiligen. — Die Annahme von Masson dürfte dagegen erst als feststehend anzusehen sein, wenn beim Gleichbleiben der Oeffnung der Stimmritze, der Spannung der Bänder und der Stärke des Luftstroms der Ton sich erhöhte mit steigender Spannung der Wandungen des ventriculus Morgagni; oder wenn bei Unveränderlickeit in der Spannung der Stimmbänder und der Ventrikelwände die Tonhöhe wüchse mit dem abnehmenden Durchmesser der Stimmritzenöffnung. Masson müsste auch darthun wie es zu erläutern sei, dass dieser Einfluss der Weite der Stimmritze am todten Kehlkopf, wie dieses Müller gezeigt, fehlen und am lebenden vorhanden sein könne u. s. w. Keinenfalls aber darf der Ausspruch unterlassen werden, dass bei der gegenwärtigen Sachlage die Annahme von Müller das Uebergewicht über die andere hat, indem es gelingt aus derselben die Erscheinungen am lebenden und todten Kehlkopf vollkommen zu erklären.

7. Bedingungen für die Bildung der Brust- und Fistelstimme; Theorie derselben. Die Beobachtungen über die Vorgänge in den Stimmwerkzeugen beim Uebergang der Töne aus dem einen in das andere Register bestehen darin: dass bei der kräftigen Bruststimme, niemals aber bei der Fistelstimme, die Wandungen des ganzen Brustkorbes in ein fühlbares Mitschwingen gerathen; ein Umstand, der darauf hindeutet, dass sich bei ihrer Bildung dem Luftstrom eine beträchtliche Hemmung an der Stimmritze entgegensetzt. In Uebereinstimmung hiermit gibt Garcia*) an, dass bei gleicher Anfüllung des Brustkastens mit Luft dieselbe Note gleichlaut gesungen im Brustton länger gehalten werden könne, als im Fistelton, mit andern Worten bei Anwendung des ersten Registers entweicht die Luft nicht so leicht als bei Benutzung des zweiten. Ausserdem ist noch bekannt, dass dem Gefühl des Sängers nach die Kehlkopfsmuskeln bei der Bruststimme angestrengter sind als bei der Fistelstimme.

Bei der Unmöglichkeit weitere direkte Aufschlüsse zu erlangen, hat man sich auch hier zu den Versuchen an dem todten Kehlkopf gewendet und dabei erfahren: a. Am todten Kehlkopf sind die beiden Stimmarten zu erzeugen und zwar mit einem Klang, der selbst nach dem Urtheil von gebildeten Sängern demjenigen der lebenden mensch-

*) Valentin Lehrbuch der Physiolog. II. a. §. 3132.

lichen Stimme sich sehr annähert. — b. Fisteltöne entstehen auf dem todten Kehlkopf, wenn sichtlich nur die freien Ränder der Stimmmembranen schwingen, während wenn die letztern in ihrer ganzen Ausdehnung vibriren der Brustton erscheint; Lehfeldt. — c. Der Mechanismus, der die Möglichkeit herbeiführt, dass die Stimmhäute in ihrer ganzen Ausdehnung schwingen, scheint gegeben zu sein, wenn der m. thyreoarytenoideus die Stimmritze stellt, wodurch die Stimmhäute möglichst in das Lumen der Luftröhre hineingezogen werden; wenigstens erscheint nach Müller und Liscovius die Bruststimme am angeblasenen todten Kehlkopf, wenn man die Stimmritze so stellt, wie sie voraussichtlich am lebenden durch den erwähnten Muskel geformt wird. Die freien Ränder der Stimmbänder schwingen dagegen für sich, wenn man die Stimmritze auf die Weise, wie sie im Leben wohl durch die Zusammenziehung der mm. cricoarytenoidei dargestellt wurde, formt.

Diese Beobachtungen am todten und lebenden Stimmorgan finden sich, so weit unsere Einsicht reicht, in voller Uebereinstimmung miteinander: 1) die Brusttöne sind die tieferen des menschlichen Stimmumfangs entsprechend der Behauptung, dass sie gebildet werden bei der durch die Zusammenziehung der mm. thyreoarytenoidei erzeugten Stellung der Stimmbänder; denn dieser Muskel wirkt erschlaffend auf das Stimmband. — 2) Bei der Bruststimme geht alles übrige gleichgesetzt, weniger Luft verloren und in der That ist auch bei der angegebenen Stellung der Stimmbänder, wobei die Stimmritze enger ist, der Luft ein grösseres Hinderniss gesetzt.

Neben diesen von Lehfeldt, Liscovius*) und Joh. Müller**) ausgesprochenen Annahmen, haben noch Andere wie Petrequin und Diday***); Segond†); Savart; Longet und Masson††) Angaben über den bei der Fistel- und Bruststimme bestehenden Vorgang gemacht; dieselben sind jedoch, insofern sie nicht ganz widerlegt sind, nur mehr oder weniger annehmbare physikalische Probalitäten.

Petrequin und Diday erläutern die Bruststimme übereinstimmend mit Joh. Müller, die Fistelstimme soll dagegen in nichts anderm als in einer Schwingung der Luft in der Luftröhre und dem Kehlkopf, ohne Beihülfe irgend einer Bandschwingung bestehen. Ihr ganzer Beweis ruht darauf, dass die Fistelstimme einen flötenartigen Klang hat. — Longet und Masson behaupten, dass in der Bruststimme die Luft der Luftröhre und des Kehlkopfs im Zusammenhang schwinge, dass aber in der Fistelstimme sich in der Stimmritze ein Schwingungsknoten bilde, so dass die Luft in zwei gesonderte schwingende Abtheilungen zerfalle. — Segond, welcher, auf Vivisektion an Katzen gestützt, angab, dass die Fistelstimme erzeugt werde durch Schwingungen der oberen Stimmritzenbänder, ist von Longet widerlegt worden.

8. Mittönende Stimmwerkzeuge. Die Luft der Lunge, Luftröhre, Rachen-, Mund- und Nasenhöhle und die elastischen Wände die-

*) l. c. p. 42.
**) l. c. p. 194 u. f.
***) Gazette medic. 1844. Nro. 8 u. 9.
†) Archiv general. XVII. u. XX. Bd. 1848 u. 1849.
††) l. c. 186.

ser Höhlen üben einen Einfluss auf Klang und Stärke, keinen aber auf die Höhe des Tons. Der Beweis dafür, dass sie nur mitklingen, lässt sich auf zahlreiche Weise geben; so ändert sich die Höhe eines angegebenen Tons nicht beim Oeffnen und Schliessen des Mundes. Der Ton nimmt an Höhe nicht zu mit der steigenden Verminderung der Luft in der Brusthöhle beim Ausathmen u. s. w. Dagegen verliert er an Klang und Stärke wenn die Lunge, Rachen-, Nasen- und Mundhöhle pathologische Veränderungen erleiden, ebenso wenn der Kehlkopf verknöchert u. s. w. —

Die erwähnten Luftbehälter sind bekanntlich mit Muskeln versehen, durch welche theils das Volum ihres Inhalts und theils die Wandspannung veränderlich wird. An einigen dieser Apparate sind die Nerven dieser Muskeln in eine ähnliche Beziehung zu den wesentlichen Stimmwerkzeugen gesetzt, wie wir sie auch anderswo z. B. an den Augenmuskeln und der Iris finden; unwillkürlich tritt nämlich mit der Erregung der einen Muskelabtheilung auch die einer andern auf. In einer solchen Verkettung mit den eigentlichen Stimmmuskeln, [die sich nur zwischen den Kehlkopfknorpeln her erstrecken] scheinen zu stehen mm. thyreohyoidei, sternohyoidei (?) sternothyreoidei, levatores palati mollis, azygos uvulae. — Namentlich nähert sich beim Erhöhen des Tons der Kehlkopf dem in seiner Lage verharrenden Zungenbein und es zieht sich zugleich das Zäpfchen bis zum Verschwinden in den Vorhang; Valentin*). Umgekehrt aber steigt der Kehlkopf herab, wenn sich der Ton vertieft; der ganze Umfang dieser Kehlkopfsbewegung beträgt von einem halben bis zu einem ganzen Zoll.

Zudem sind wir aber noch willkürlich die Resonnanz zu modificiren im Stande je nach der Stellung, die wir den Lippen, den Zähnen, der Zunge, dem Gaumenbogen u. s. w. geben.

9. Vergleichung des Kehlkopfs mit nahe stehenden musikalischen Instrumenten; Compensation am Stimmorgan. Offenbar steht unser Kehlkopf unter allen Instrumenten keinem so nahe, als der Zungenpfeife (Hoboe, Clarinette, Zungenpfeifen der Orgel etc.) In diesen dringt, wie im Kehlkopf, ein Luftstrom gegen eine elastische Platte, welche hierdurch in Schwingungen versetzt wird; in beiden Fällen ist die Platte so gegen den Luftstrom gestellt, dass sie den Stoss desselben je nach der Richtung ihrer Schwingung bald mehr und bald weniger zu hemmen im Stande ist; in beiden Instrumenten wird die Höhe des Tons wesentlich bestimmt durch die Zahl von [mehr oder weniger vollkommenen] Unterbrechungen, welche der Luftstrom bei seinem Hergang an der elastischen Platte durch die Schwingungen derselben erleidet. — Das Stimminstrument zeichnet sich aber durch

*) Lehrbuch II. a. p. 388.

folgende bemerkenswerthe Eigenschaften vor den gewöhnlichen Zungenpfeifen aus. — a. Die schwingende Platte ist keine metallene, sondern eine elastische Membran; weil diese im normalen (ungespannten) Zustand einen niedrigen Elastizitätscoeffizienten besitzt, bei Ausdehnungen aber die Spannungen zwischen den Molekeln der Membran sehr rasch wachsen, so ist es möglich Schwingungen von sehr verschiedener Dauer in ihr zu erregen, ohne dass die Länge der Membran beträchtlichen Wechsel bedürfte. — b. Das Stimmorgan besitzt verschiedene Mittel zur Veränderung der Tonhöhe, wodurch ihm ein akustisches Ausgleichungsvermögen in einem Grade und einer Ausdehnung zukommt, wie es keinem andern Zungeninstrumente eigen ist. Viele Instrumente zeigen bekanntlich die Eigenthümlichkeit beim starken Anspruch (heftigem Blasen oder Streichen) einen Ton von grösserer Höhe zu geben, als bei schwachem Anspruche. Dieser Uebelstand der das Anschwellen eines und desselben Tones vom piano zum forte unmöglich macht, kann durch verschiedene Mittel ausgeglichen (compensirt) werden. — In der That gelingt nach W. Webers Vorschriften auch die Compensation an Zungenpfeifen aber nur dann, wenn man die Zungenpfeife für einen einzigen Ton einrichtet; hieraus folgt aber die weitere Störung, dass ein Instrument aus gerade so viel Röhren zusammengesetzt sein muss, als es Töne erzeugen soll*). — Einer viel grösseren Vollkommenheit der Compensation erfreut sich nun das Stimmorgan, indem es innerhalb weiter Grenzen durch stetige Correktur zweier spannender Einflüsse jede Tonhöhe bei jeder Luftstärke erzeugt. Die Einflüsse, welche hier compensirend auftreten sind die Stärke des Luftstosses und die Grösse der Muskelcontraktion, in der Art, dass wenn ein Ton allmälig stärker oder allmalig schwächer angegeben werden soll, die Muskeln in ihrer Contraktion allmälig steigen oder nachlassen, so dass in diesem Fall durch die Muskeln und durch Anblasen gleichzeitig eine Spannungsänderung erwirkt wird, die von gleichem Werth ist, aber im umgekehrten Sinn liegt. — Alle Töne mit Ausnahme der tiefsten und höchsten können unter den Einflüssen dieser compensirenden Mittel ab- und anschwellen.

10. Motorische Nerven der Stimmwerkzeuge, Reflexe auf dieselben**).

Die Muskeln des Stimmapparats sind, wie aus dem Vorhergehenden erhellt, sehr zahlreich und auf mannigfache Weise an unserem Körper vertheilt. Ein grosser Theil derselben, wenn nicht alle, sind

*) Bindseil. l. c. p. 222 u. 481.

**) Th. Bischoff; commentatio de nervi accessor. Willisii etc. Darmstadt 1832. — Volkmann, Artikel Nervenphysiologie. Wagners Handwörterbuch II. Bd. p. 585 u. 589. — Donders u. Moleschott in Henles Zeitschrift f. rat. Med. IV. Bd. 219. — Bernard, Archiv general. 1844 und im ausführlichen Auszug in Valentins Jahresbericht Jahrg. 1845. 217. — Longet, Recherches experim. sur les fonct. etc. Gazette med. 1841 und in dessen Traité de physiol. I. c. 147.

dafür berechnet, neben der Stimmbildung noch andere Funktionen zu erfüllen, und namentlich sind sie theils Schling- und theils Athemmuskeln. Diese Häufung der Funktionen, welche in ganz verschiedener Stellung zum Hirn und Rückenmarke stehen, macht es wahrscheinlich, dass die Muskeln behufs der Stimmbildung durch Nerven erregt werden, die aus andern Hirntheilen entspringen als die, welche Athem- und Schlingbewegung einleiten. — Diese Vermuthung erhält daran eine Stütze, dass die Muskeln der Stimmritze in der That Nerven, die in ursprünglich verschiedenen Bahnen verlaufen, empfangen, und sie wird fast zur Gewissheit durch die pathologische Beobachtung. Diese letzte lehrt nämlich, dass in Folge von Hirnkrankheiten und zwar ohne irgend eine weitere Störung der Lebenserscheinungen, die bisher vorhandene und wohlausgebildete Fähigkeit der Tonbildung erlöschen kann. Die hier in Frage kommenden Kranken können dann noch willkürlich und unwillkürlich die Athem- und Schlingbewegungen verrichten, sie können dagegen weder willkürlich noch unwillkürlich eine Stimme bilden.

a. Nerven der Stimmhautsteller und Stimmhautspanner.

Die Stimmhautsteller und namentlich mm. thyreoarytenoidei, cricoarytenoidei postici und laterales, arytenoidei proprii erhalten ihre Nerven zunächst aus dem ram. recurrens n. vagi, während der m. cricothyreoideus denselben aus dem ram. laryngeus sup. empfängt. Nach Bischoff treten durch den n. accessorius die Nervenfäden aus dem Hirn, welche für die Muskeln zur Stellung und Spannung der Stimmritze bestimmt sind; denn er beobachtete nach Durchschneidung aller Wurzelfäden dieses Nerven in der Schädelhöhle vollkommenen Verlust der Stimme. Seine Angaben bestätigt Longet. Volkmann spricht dagegen den Vaguswurzeln einzig und allein die Beherrschung der kleinen Kehlkopfsmuskeln zu. Diesen Widerstreit vereinigt Bernard dahin, dass er behauptet es verbreiteten sich im ram. laryng. inferior Nervenröhren, welche ursprünglich in den Wurzeln des n. vagus und n. accessorius W. lagen; während zu dem m. cricothyreoideus nur Nerven aus den Wurzeln des n. accessorius treten sollen.

Bernard behauptet in Uebereinstimmung mit Bischoff, dass dem n. accessorius die Stimmbildung obliege; nach Ausrottung dieses Nerven beobachtete er nicht allein vollkommene Stimmlosigkeit, sondern auch Unfähigkeit die Stimmritze in einem solchen Grad zu schliessen und ihre Umgrenzungen so zu spannen, wie es die Stimmbildung erfordert. — Ob hierdurch, wie Bernard glaubt, der Beweis dafür geliefert ist, dass der n. accessorius nur Stimmnerv sei, ist um so unwahrscheinlicher als auch beim Schlingen die Stimmritze nicht mehr in normaler Weise geschlossen werden konnte. — Möglicher Weise waren in den von ihm beobachteten Fällen Stimmritzenverengerer und Spanner vollkommen gelähmt, indem die geringen Verengerungen der Stimmritze, die er als vorhanden angibt, von elastischen Wirkungen, Luftstössen etc. abhängig waren.

b. Die Nerven für die Muskeln der tonverstärkenden Apparate. — In das Gaumensegel geht nach früherem n. accessorius und n. va-

gus gleichzeitig; wie sie sich in die Funktionen die dieser Falte zukommen theilen, ist unbekannt. — Mm. thyreohyoideus und sternothyreoideus empfangen ihre Zweige aus dem ram. descend. hypoglossi; wahrscheinlich also aus Halsnerven und Hypoglossuswurzeln gleichzeitig.

c. Die Nerven für die Stimmmuskeln des Brustkorbs. — Die Exspirationsbewegungen, deren wir uns bei der Stimmbildung bedienen, zeichnen sich durch ihre grosse Dauer aus, während die gewöhnliche Exspiration sehr rasch beendet ist. — Dieser Modus kann begreiflich entweder durch einen sehr allmäligen Nachlass der Einathmungsmuskeln bedingt sein, so lange sich der Brustkorb bis zu dem Raum verengert, den er gemäss seiner natürlichen Elastizität einnimmt, oder durch eine sehr allmälige Contraktion der Exspirationsmuskeln, wenn er sich über diese Grenze noch verengern soll. Ob für diese Modifikation der Exspirationsbewegung besondere Nerven vorhanden?

Bernard bezeichnet die mm. cucullaris und sternocleidomastoideus als Brststimmmuskeln und demgemäss als Bruststimmnerven den n. accessorius Willisii, welcher in diese beiden Muskeln eingeht. Dieser dürfte aber keinenfalls der gewöhnliche Bruststimmnerv sein, da sich nur ausnahmsweise diese beiden Muskeln an einer Exspirationsbewegung betheiligen. —

Die reflektorischen Beziehungen unseres Apparates sind wegen der innigen und ganz eigenthümlichen Seelenwirkungen auf denselben schwer zu ermitteln, jedenfalls aber dürfte das Aussprechen des Zweifels am Platz sein, ob jede in Folge der Erregung sensibler Nerven auftretende Stimme ein Beweiss dafür sei, dass die Seele einen Empfindungseindruck empfangen habe.

Sprache.*)

Die akustischen Eigenthümlichkeiten der Sprache unterscheiden sich weit ab von denen der Stimme. Während das Gebiet der letzteren durch eine musikalische Tonreihe dargestellt wird, besteht die Sprache aus einer Zahl von besonderen Klangarten oder besser Geräuschen; das Stimminstrument könnte darum mit vollkommenem Recht ein musikalisches genannt werden, das Sprachinstrument ist dagegen ein ganz eigenthümlicher akustischer Apparat, der von den Wirkungen, welche die Schwingungszahlen der Töne erzeugen, ganz absieht, und zu seinen Leistungen nur das Beschleunigungsgesetz (die Form) der Schallwellen benutzt. Die Sprachlehre hat nun diese einzelnen Geräusche, aus denen die Sprache zusammengesetzt ist, zu ermitteln gesucht und mit besondern Schriftzeichen bezeichnet; die Buchstaben sind also gleichsam die Noten der Sprache, welche aber hier keine Tonhöhen, sondern Tonfärbungen andeuten.

*) J. Müller, Handbuch der Physiologie II. 229. — E. Brücke, Untersuchungen über Lautbildung und das natürliche System der Sprachlaute. Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Wien 1849. Märzheft.

1. Allgemeine Bedingungen zur Spracherzeugung.

Die Sprache oder besser die einzelnen zur Sprache gehörigen Laute werden erzeugt, indem die vom Brustkasten eingesogene oder ausgestossene Luft durch die Mund- oder Nasenhöhle hindurchstreicht, während die einzelnen beweglichen Theile derselben, Lippe, Unterkiefer mit der Zahnreihe, Zunge, Gaumen eine gewisse Stellung eingenommen haben oder einzunehmen im Begriff sind. In diesem Sinne bezeichnen die Buchstaben auch gewisse Stellungen der Mundtheile während eines durch dieselben dringenden Luftstroms.

Die allgemeine physiologische Aufgabe, welche sich nach dieser Mittheilung stellt, bestünde darin, anzugeben, welche Geräusche mittelst der erwähnten Hilfsmittel erzeugt werden können, und welche Beziehungen zwischen den erzeugten Geräuschen und den erzeugenden Hilfsmitteln bestehen, d. h. warum mit Nothwendigkeit den Stellungen der Mundtheile die hervorgebrachten Laute entsprechen. In dieser allgemeinen Form ist aber unsere Aufgabe bei dem niedrigen Stand der akustischen Fundamente noch nicht angreifbar. Man begnügt sich damit, empirisch zu ermitteln, welche Veränderungen der Sprachwerkzeuge zur Erzeugung der beschränkten Zahl von Lauten nothwendig sind, welche die Sprachen zur Bildung ihrer Worte benutzen. — In diesem beschränkten Sinne werden wir nun ebenfalls unsere Mittheilungen halten müssen, die unter allen Umständen schon darum etwas sehr scwankendes haben, weil für den einzelnen Laut der betreffenden Sprache die akustische Bestimmtheit fehlt, indem er von verschiedenen Menschen verschieden ausgesprochen wird.

Die Sprachbildung ist unabhängig von der Stimmbildung im Kehlkopf, kann aber mit ihr in Combination treten; Flüstern und Lautiren.

Bekanntlich können wir beim Ausstossen der Luft, wenn die Stimmritzenbänder so gestellt sind, dass sie keinen Ton angeben, sprechen; die einzelnen hier gebildeten Geräusche sind vollkommen distinkt, die aus ihnen zusammengesetzten Worte vollkommen verständlich, aber die Sprache ist klanglos, flüsternd. Der besondere Beweis, dass in diesem Fall der Kehlkopf keinen Theil an der Sprache nimmt, liegt darin, dass dieselbe mit gleichen oder wenigstens sehr ähnlichen akustischen Eigenschaften auch beim schwachen Einziehen der Luft, wobei der Kehlkopf gar keinen Ton zu geben im Stande ist, gebildet werden kann. Diese Art zu sprechen, benützen wir nur ausnahmsweise, gewöhnlich aber erzeugen wir die Sprache gleichzeitig mit Sprech- und Stimmwerkzeugen, so dass der gehörte Laut eine resultirende Schallbewegung aus den Wirkungen beider wird. Dass hier aber wiederum die Sprachwerkzeuge den bestimmenden, den Laut charakterisirenden Einfluss üben, ergibt sich daraus, dass wenn wir alle Laute bei derselben, oder umgekehrt einen Laut bei sehr verschiedenen Tonhöhen sprechen, die Sprache nichts von ihrer Verständ-

lichkeit verliert, wie uns eintönige Gespräche und tonreiche Lieder beweisen.

2. Bedingungen zur Bildung der einzelnen Laute; Buchstaben.

Bei der Bildung eines möglich reinen *a* nähern sich Kehlkopf und Zungenbein durch Erhebung des erstern, die Zunge legt sich auf den Boden der Mundhöhle, die Mundöffnung kann eine beliebige Form annehmen, doch darf sie nicht zu weit und nicht zu einer runden Oeffnung verengert sein. — Bei *e* erhebt sich das Zungenbein, die Zunge wird dem harten Gaumen mehr genähert; alles Andere wie bei *a*. — Bei *i* tritt das Zungenbein noch höher und nach vorn, der Kanal zwischen Zunge und hartem Gaumen wird noch mehr verengert. Alles Andere wie bei *e* und *a*. — Bei *o* ist der Kehlkopf dem Zungenbein weniger genähert als bei *a*, *e* und *i*. Die Zunge hinten gehoben, vorn flach, die Mundöffnung bei vorgeschobenen Lippen in Form eines runden Loches verengt. — Bei *u* steht das Zungenbein so hoch als bei *a* und nach vorn wie bei *i*, der Raum zwischen Zungenbein und Kehlkopf ist aber wegen der Senkung des letzteren vergrössert, die Zunge ist dem Gaumen hinten stärker genähert als bei *o*, vorn liegt sie flach und die Mundöffnung bildet ein rundes Loch, welches noch enger als bei *o* ist.

Diese fünf Buchstaben stellen die von den Grammatikern so genannten reinen Vokale der germanischen und romanischen Sprachen dar. — Diese Sprachen bedienen sich ausserdem noch Modifikationen derselben, welche hervorgehen a) aus den Stellungen der Mundtheile, die in der Mitte liegen zwischen einem der reinen Vokale. Hierher gehören Laute, die von dem durchziehenden Luftstrome gebildet werden, nachdem die Sprachwerkzeuge eine Stellung zwischen *e* und *a*, *a* und *o*, *i* und *u*, *e* und *o* und endlich zwischen *a*, *o* und *e* angenommen haben. b) Bei der den Vokalen entsprechenden Veränderung in der Stellung des Kehlkopfs, des Zungenbeins und der Zunge während unveränderter, in allen Fällen mässig geöffneter Mundhöhle entstehen die sogenannten unvollkommenen Vokale (Vokale der Engländer). c) Aus der den Vokalen entsprechenden Veränderung der Rachen- und Mundtheile mit einer solchen Stellung des Gaumensegels, dass die Luft zugleich durch Mund- und Nasenhöhle streichen kann, bilden sich die Vokale mit Nasenton. Für diese Modifikation ist also die Resonnanz der Luft in der Nasenhöhle charakteristisch. d) Gehören zu der Modifikation der Vokale die sogenannten Diphthonge, welche durch den vorbeiziehenden Luftstrom gebildet werden, während die Sprachwerkzeuge aus der Stellung für einen Vokal in den andern übergehen.

Im Vorhergehenden ist der Verabredung gemäss nur die Bildung der Vokale erwähnt, wie sie der Sprache geläufig ist. Sie lassen sich aber noch auf mannigfache Weise bilden; namentlich beim Einziehen sowohl, als beim Ausstossen der Luft, und dann auch während die Zunge aus dem Mund gestreckt und in dieser Stellung auf die

mannigfachste Weise verbogen wird. — Diese Bildungsweisen sind für die Theorie sehr bemerkenswerth, weil daraus hervorgeht, dass sie ebenso gut, wie alle andern Buchstaben in dem Mund, resp. in der Rachenhöhle nicht aber in dem Kehlkopf entstehen. Die verschiedenen Versuche die Sprache des Menschen mittelst mechanischer Apparate nachzuahmen, haben namentlich auch auf verschiedene Methoden der Vokalbildung geführt. Die ältern bahnbrechenden Beobachtungen von Kempelen und Kratzenstein sind von Willis sehr vervollkommnet, welcher darthut, dass man ebensowohl, wenn man auf ein Zungeninstrument mit frei durchschlagender Zunge einen flachen Trichter setzt und dessen Oeffnung immer weiter verschliesst, der Reihe nach die Vokale i, e, a, o, u erhält, als wenn man an dieses Zungeninstrument ein Ansatzrohr setzt. Bei allmäligem Verlängern dieses Ansatzrohres treten die Vokale wieder in der Reihe i, e, a, o, u auf; erreicht das Ansatzrohr ein $\frac{1}{4}$ oder ein vielfaches vom $\frac{1}{4}$ der Wellenlänge des Tons, welchen dies Zungeninstrument gibt, so tritt ein Wendepunkt ein, indem nun die Vocale bei steigender Verlängerung in umgekehrter Ordnung u, o, a, e, i erscheinen. Diese Erfahrung hat die Phonetiker bestimmt, die erwähnte Reihenfolge der Vokale die natürliche zu nennen. — Brücke hält diese künstlichen Bedingungen der Entstehung mit den natürlichen insofern übereinstimmend, als hier, wie dort die Reihe von i zu a aufsteigend erhalten wird durch allmälige Verlängerung des Ansatzrohrs, und a und o zu u durch allmälige Verengung der Ausflussöffnung für die Luft sich bildet. Er findet dagegen noch die Art wie beim Sprechen die Zungenstellung auf die Vokalbildung wirkt, räthselhaft. —

Den bisher beschriebenen Lauten steht das *h* insofern nahe als hier wie dort bei der Bildung der Mundkanal ziemlich weit offen bleibt. Ler Laut *h* (die aspirata) kann in der That auch mit allen Vokalen gleichzeitig gebildet werden; der Unterschied der Vokale und des *h* in Bezug auf ihre Entstehung scheint einzig in dem Modus der Luftströmung zu bestehen, so dass bei *h* der Luftstoss plötzlicher und rascher durch die zum Vokal gestellten Mundtheile hindurchfährt als bei *a*, *e*, *i*, *o*, *u*.

Die Bildung der noch übrigen Laute unseres Alphabets zeigt die Uebereinstimmung, dass die Luft auf dem Wege von der Stimmritze bis zur Mundöffnung einen Verschluss oder eine beträchtliche Verengerung findet, wesshalb sie im Vorbeiströmen ein auffallendes Geräusch bildet, während die Stellung des Zungenbeins zum Kehlkopf keine oder nur unwesentliche Veränderungen erfährt. Man hat sie darum immer auch vorzugsweise als Mundlaute betrachtet. — Nach Brücke kann man sie je nach dem Ort, an welchem sich der Verschluss oder die Verengerung bildet, in drei Gruppen zerfällen, an deren Spitzen die von der Grammatik her bekannten mutae *p*, *t*, *k* stehen.

Die erste Gruppe besteht aus *p*, *b*, *f*, *v*, *w*, *m*; den Verschluss oder die enge Mündung bilden Lippe mit Lippe oder eine der beiden Zahnreihen mit den Lippen. — *p* wird durch ein plötzliches Oeffnen oder Schliessen der vorher festgeschlossenen oder geöffneten Lippen erzeugt (z. B. in *pa* und *ap*), während ein Luftstrom aus dem Kehlkopf gegen die Mundöffnung dringt; es kann auch mittelst raschen Oeffnens der durch Zähne und Lippen geschlossenen Mundhöhle bei Vorhandensein des erwähnten Luftstroms erzeugt werden. Der Buchstabe kann

nicht mit einem Ton verbunden werden. — Bei *b* ist alles dem *p* gleich, nur sind die verschliessenden Lippen weniger energisch gespannt und der Verschluss oder das Oeffnen geschieht allmäliger. Aus diesem Grund kann mit ihm ein Tönen verbunden sein. Kempelen und Brücke stellen darum die Charakteristik von *p* und *b* folgendermassen: *p* bedeutet Absperrung des Nasenkanals und geschlossene Lippen bei erweiterter Stimmritze; *b* dagegen Absperrung des Nasenkanals und geschlossene Lippen bei zum Tönen verengerter Stimmritze. — *f* wird gebildet indem wir eine Lippe an die entgegengesetzten Schneidezähne lose auflegen und einen Lufstrom hindurchsenden; *v* (gleich einem milden *f*) indem wir die Lippen lose aufeinander legen, so dass eine kleine Oeffnung bleibt, durch die wir hindurchblasen; *w* aber dadurch, dass wir, während wir die Stellung der Lippen zum *f* oder *v* beibehalten, die Stimme mittönen lassen. Das *m* entsteht schliesslich, wenn man die Lippen wie zum *b* stellt und die Luft mit tönender Stimme zur Nase hinausströmen lässt.

Die zweite Gruppe umfasst *t*, *d*, ein hartes und ein weiches *s*, *l*, *n*. Für diese bildet die Zunge den Verschluss oder die enge Oeffnung mit den Schneidezähnen oder dem vorderen Theil des harten Gaumens. — *t* ist also ein stummer Laut, der gebildet wird während dem Luftstrom ein Ausweg geöffnet oder verschlossen wird durch Anstemmen der Zunge gegen Schneidezähne und Gaumen (*ta* oder *at*). — *d* entsteht aus *t* wie *p* aus *b*, nur mit dem Unterschied, dass hier die Zunge statt der Lippen allmälig bei tönender Stimmritze den Verschluss öffnet. Das harte *s* bildet sich, wenn bei der dem *t* zugehörigen Zungenstellung eine kleine Spalte geöffnet und durch diese die Luft gestossen wird; das harte *s* aber geht in ein weiches *s* über, wenn man gleichzeitig die Stimme mittönen lässt. — Das *l* entsteht, wenn man den Verschluss mit der Zunge vorn wie bei *t* festhält, dagegen hinten neben den Backzähnen beiderseitig eine kleine Oeffnung lässt, durch welche die Luft hindurchstreicht. Wird endlich die Zunge wie zum *d* gestellt und bei tönender Stimmritze die Luft zugleich durch die Nase getrieben, so entsteht *n*.

In die dritte Gruppe gehören *k*, *g*, *ch*, *j* und das sogenannte Gaumen *n* oder *n* nasale. — *k* entsteht wie *p* und *t* nur mit dem Unterschied, dass der Verschluss durch den hintern Theil der Zunge und des Gaumens gebildet ist. *g* entspricht *d* und *b*; *ch* ist dem harten *s* und *f* entsprechend, indem es ein Reibegeräusch an einer kleinen Oeffnung zwischen dem hinteren Theil des Gaumens und der Zunge darstellt; *j* (dem weichen *s* und *w* entsprechend) bildet sich bei der Zungenstellung zum *ch* und tönender Stimmritze und endlich entsteht ein eigenthümlicher *n* Laut wenn man bei Stellung der Zunge zum *j* und tönender Stimmritze den Luftstrom durch die Nase richtet.

Von den einfachen Consonanten der Grammatiker bleibt uns noch

das *r* übrig; wir erwähnen es hier, weil es als ein Glied aller drei Gruppen aufgeführt werden kann, indem wir ein *r* labiale, linguale und gutturale bilden können. Charakteristisch für seine Bildung ist es, dass wir einen der leichtschwingenden Mundtheile mittelst des Luftstroms in Wellenbewegungen versetzen, deren einzelne Stösse so langsam auf einander folgen, dass wir sie gesondert unterscheiden. — Das *r* labiale entsteht demgemäss, wenn wir unsere Lippen lose wie zum *b* aneinanderlegen und durch den Luftstrom in Bewegung versetzen. — Das *r* linguale ist der hörbare Ausdruck der Vibrationen, in welche die Zunge geräth, wenn dieselbe wie zum *t* gestellt und durch den Luftstrom vom Gaumen abgedrängt wird; das *r* gutturale oder uvulare endlich entsteht durch Schwingungen des Zäpfchens, wenn man die Zunge wie zur Bildung des *ch* stellt, aber in der Mitte entsprechend der Lage des Zäpfchens eine Rinne bildet.

Ausser diesen einfachen Consonanten bildet das menschliche Sprachwerkzeug noch zusammengesetzte, welche entstehen wenn die Mundwerkzeuge gleichzeitig zwei Stellungen einnehmen, von denen jede für sich der Bildung eines Consonanten entspricht; hierher gehört *sch*, *sf* u. s. w. Mit diesen dürfen begreiflich nicht zwei gesondert gesprochene, aber rasch aufeinanderfolgende Consonanten verwechselt werden, was um so leichter geschieht, wenn diese aus Bequemlichkeit von der Schrift in einen Buchstaben zusammengefasst sind, wie das deutsche z und das griechische ξ und ψ.

Vorstehende fragmentarische Betrachtung der Laute, bei der wir vorzugsweise den ausgezeichneten Beobachtungen von E. Brücke gefolgt sind, kann nur als ein Anregungsmittel zu weiteren Literaturstudien betrachtet werden. Die Beschränkung auf das Gegebene erschien um so mehr geboten, als sonst auch andere erlernte Fähigkeiten unserer Bewegungsorgane — denn eine solche ist die Sprache — eine Berechtigung zur Besprechung erhielten. Es versteht sich von selbst, dass die rationelle Grammatik den hier abgebrochenen Faden aufnimmt und auf das Gründlichste verfolgt.

3. Nerven der Sprachwerkzeuge.

Zu ihnen zählen wir den n. facialis, welcher sich in den m. orbicularis oris, die mm. incisivi, m. stylohyoideus und m. digastricus posterior begibt, und den n. hypoglossus, welcher in die Zungenmuskeln, m. geniohyoideus und den m. hyothyreoideus eindringt. — Welcher der Gaumennerven, ob n. vagus, accessorius oder facialis als Sprechnerv des Gaumens aufzufassen sei, bleibt ungewiss.

Ueber die Stellung dieser Nerven zu den Seelenorganen gelten die bei den Stimmnerven erwähnten Bemerkungen um so eher, als das schon vorhandene Vermögen zu sprechen in Folge von Hirnverletzungen zu Grunde gehen kann, ohne dass die Schlingfunktionen der Zunge etc. gelähmt sind.

Fünfter Abschnitt.

Physiologie der Seelenorgane.

Entsprechend den unbedeutenden Hilfsmitteln, die uns zu Gebote stehen für die Untersuchung der vom Hirn ausgehenden Wirkungen und dem Mangel einer genauen chemischen und anatomischen Zergliederung dieses Organs, neben dem meist nicht auf Beobachtung gerichteten Bestreben der Psychologen, lässt sich nur wenig Thatsächliches über die Seelenerscheinungen mittheilen; besonders wenn man sich vorsetzt, nicht zu einer Aufzählung der mannigfachen Erscheinungen zu schreiten, sondern die denselben zu Grunde liegenden fundamentalen Hergänge zu ermitteln. — In diesem letztern Sinne sind, wenn auch noch sehr mangelhaft, nur die Empfindung, die willkürliche Erregung und der Schlaf angreifbar.

Organe der Empfindung.

1. Die Umstände, durch deren Zusammenwirken die Empfindung entsteht, sind so gut wie unbekannt. Da dem gesunden wachenden Menschen nur dann Empfindungen zu Theil werden, wenn seine Nerven in den erregten Zustand gerathen, so liegt es nahe, die Erregung der Nerven und die Empfindung für gleichbedeutend zu erklären. Eine solche Annahme wäre aber vollkommen fehlerhaft, einmal weil nicht ein jeder erregte Nerv innerhalb des normalen Lebens Empfindung erzeugt, sondern nur eine ganz beschränkte Zahl derselben und insbesondere die drei höhern Sinnesnerven, die grosse Wurzel des fünften und Abtheilungen des neunten, zehnten und elften Hirnnerven und die hintern Wurzeln der Rückenmarksnerven. Aber auch diese Nerven erwecken nur Empfindungen wenn ihre reellen oder virtuellen Fortsetzungen ununterbrochen durch das Hirn bis in die Sehhügel und die mittleren Lappen der grossen Hemisphären verlaufen. Alle diejenigen der erwähnten Nervenröhren, die abwärts von den genannten Orten eine Unterbrechung ihres Zusammenhangs erlitten haben, verlieren nach den Erfahrungen am Krankenbette damit sogleich ihre empfindungserzeugenden Fähigkeiten, selbst dann, wenn sie zum Zeichen

vollkommener Unversehrtheit in der medulla spinalis und oblongata, durch ihre Erregung noch Reflexbewegungen einleiten können. Diese letztere Thatsache, dass Reflex, also eine Verknüpfung der Erregung von sensiblen und motorischen Nervenröhren, bestehen kann, ohne dass eine Empfindung daraus wird, widerlegt auch zur Genüge den Verdacht, als ob das physiologische Zusammenwirken der Nervenröhren im Hirn und Rückenmark die Bedingung der Empfindung sei. Die Widerlegung dieser letzteren Probabilität musste aber noch ausdrücklich hervorgehoben werden, weil, wie wir bei den Sinneswerkzeugen gesehen haben, mannigfache Akte der Empfindung, z.B. beim Tasten, dem Sehen in bestimmter Richtung, Entfernung und Ausdehnung u. s. w. in der That nur unter dem Zusammengreifen der Erregungszustände eines motorischen und eines sensiblen Nerven geschehen. Somit muss jenseits der erwähnten Hirnstellen, sei es in den Lappen oder Commissuren, noch etwas zu dem erregten Nerven hinzutreten, damit sich die Empfindung bilde. Für die Richtigkeit dieser Annahme bürgt uns nun auch die Jedermann bekannte Thatsache, dass wir den Erregungszustand eines sensiblen Nerven nur so lange und in dem Grade empfinden, als wir ihm die Aufmerksamkeit zuwenden; tausende von Lichtstrahlen die sich zu Bildern auf der Retina ordnen, und tausende von Schallwellen die in das Labyrinth unseres Ohres dringen, werden von uns nicht gesehen oder gehört, wenn unsre Aufmerksamkeit mit aller Macht einem ernsten Gedanken, einer schwierigen Muskelbewegung, einer Geschmack- oder Hautempfindung und dgl. zugewendet ist. —

Die nur um ein Weniges weitergehende Zergliederung der Empfindungsakte gibt nun auch zu erkennen, dass sich jede Empfindung noch mit etwas ganz besonderem verknüpft, nämlich mit der Vorstellung. Denn niemals empfinden wir den erregten Nerven im Hirn, sondern ausserhalb desselben und zwar wie bei allen Sinnen erwähnt wurde nach gewissen Richtungen und Ausdehnungen hin. Diese unter allen Umständen der Empfindung beigefügten Zusätze können aber wie es scheint ganz unmöglich begriffen werden aus der Nervenerregung.

Hält man mit dieser zuletzt hervorgehobenen Thatsache zusammen, dass dieselben Erregungszustände der Nerven bei Menschen von verschiedener Ausbildung Empfindungen von verschiedenen Eigenthümlichkeiten erwecken, und gar dass der Mensch im Traum, in der Trunkenheit, in sogenannten Geisteskrankheiten und dgl. ohne die entsprechenden Nervenerregungen zu den lebhaftesten Empfindungen gelangt, die man gemeinhin mit dem Namen der Traumbilder, der Visionen, Halluzinationen und dgl. belegt, so könnte es fast scheinen als sei die Empfindung etwas von dem Nerven insofern unabhängiges, als zu ihrer Entstehung die Nervenerregung gar nicht nothwen-

dig sei, sondern die Nerven selbst nur eine der möglichen Veranlassungen zur Empfindung abgeben, mit einem Worte dieselbe nur erregen.

Will man also die Bedingungen der Empfindung aufzählen, so muss man offenbar auch anzugeben im Stande sein, worin dieses im Hirn neu hinzutretende oder angeregte, bestehe; gerade das ist aber unmöglich.

Die gewagten Annahmen, mit denen man sich gewöhnlich behilft, sind nicht im Stande Jemanden zu befriedigen, der in strenger Weise der Physiologie obliegt. Zu ihnen gehört z. B. die eines Seelenatoms; diese scheinbar einfache Annahme, mehr entsprungen aus der mathematischen Anschauung des Differentials als der des physikalischen Atoms, macht aber bei genauer Durchführung unzählige ganz ungerechtfertigte Hilfshypothesen nothwendig wie z. B. die Annahme mannigfacher Zwischenorgane zwischen Nerven und Seele, damit man die Befähigung des Nervenrohrs zu spezifisch verschiedenen Empfindungen begreife, je nachdem dasselbe aus dem Auge oder dem Ohr u. s. w. kommt, oder um den Einfluss des Schlafs, der Gifte, der Uebung und dergleichen auf die Empfindung erklärlich zu machen. Man würde den kaum errungenen Boden des Thatsächlichen wieder preisgeben, wenn man auf die Vorstellung von dem Seelenatom, das seine Existenz auf geradem Wege auch nicht einmal wahrscheinlich machen kann, und dessen Annahme, wie erwähnt, zahllose complicirte Hilfshypothesen verlangt, noch genauer eingehen wollte. — Ebenso ungerechtfertigt ist aber auch die Annahme, dass die Nervenröhren und Ganglienkugeln oberhalb der Sehhügel empfinden sollen; denn unterhalb derselben vermögen sie es doch nicht.

2. Der eben gegebenen Darstellung gemäss wird die nächste Aufgabe der Wissenschaft einzig darin bestehen können, Wege ausfindig zu machen, auf denen man unserm Problem durch den Versuch näher tritt. Da wir nun den Empfindungsakt des wachenden gesunden Menschen vorläufig zerlegt hatten in einen dem Hirn eigenthümlichen und einen den Nerven angehörigen Hergang, so wird der allgemeinsten Untersuchungsmethode gemäss, zunächst darauf zu denken sein, den einen der Faktoren nach allen Richtungen hin veränderlich zu machen, während der andere unveränderlich erhalten wird. — Die Variation der von den Nerven ausgehenden Wirkungen ist nun aber in mehr oder weniger vollkommener Art zu ermöglichen indem man nach Belieben verändern kann: die Zahl und die Art der gleichzeitig erregten Nervenröhren; die Stärke, die Zeitdauer und die Geschwindigkeit des zeitlichen Wechsels der Erregung innerhalb derselben oder ihrer inneren Natur nach verschiedenartiger Nerven. — Viel schwieriger, ja meist unmöglich dürfte es dagegen erscheinen auf ähnliche Weise auf die bei der Empfindung betheiligten Vorrichtungen des Hirns zu wirken, sei es, dass man sie veränderlich machen oder unveränderlich erhalten wollte; da wir seine Leistungen nur am bewussten urtheilsfähigen Menschen zu prüfen im Stande sind, so finden sie sich nicht allein den unberechenbaren Einflüssen ausgesetzt, die aus dem Verlaufe des leiblichen Lebens (Blutzusammensetzung, Blutdruck, Wärme u. s. w.) fliessen, und die Nachrichten die wir über ihre Funktionirung erhalten, sind nicht allein abhängig von den Gewohnheiten, Uebungen und Ermüdung der Urtheilsfähigkeit, sondern wir

vermögen auch nicht nach Willkür und namentlich nicht innerhalb kurzer Zeit nach Belieben Umänderungen an ihnen hervorzubringen. — Trotz alle dem ist jedoch die Hoffnung auf eine Besiegung dieser Schwierigkeiten nicht aufzugeben. Denn wir wissen einerseits, dass bei dem gesunden wachenden Menschen die Gewohnheit, Uebung u. s. w. die empfindenden Hirntheile niemals jenseits gewisser Grenzen zu ändern vermag, so dass dieselben je nachdem sie geübt oder ungeübt wären einen bestimmten Zustand des Nerven ganz abweichend empfänden, z. B. das Blaue für gelb oder umgekehrt ansähen; anderseits aber sind wir auch vermögend durch Einführung von Giften in das Blut, wie z. B. von Aether, Alkohol, Opium, Lustgas u. dgl. Veränderungen in den empfindenden Hirntheilen zu erzeugen, die bei allen Menschen etwas Gemeinsames darbieten und zudem nicht immer die Nerven in merkbarer Weise aus ihren normalen Zuständen zu bringen vermögen. —

Diese thatsächlichen Andeutungen für den Gewinn einer Untersuchungsmethode sind aber um so fester zu halten, und ihre Weiterbildung um so mehr zu versuchen, weil in dieser Richtung die einzige Möglichkeit zu liegen scheint Aufschlüsse zu erhalten nicht allein über die Erscheinungslehre der Empfindung, sondern auch über die den empfindenden Hirntheilen zu Grunde liegenden elementaren Bedingungen; und dieses letztre um so mehr, wenn die Aufhellung des anatomischen und chemischen Hirnbaues gelingen sollte, indem wir dann möglicher Weise durch vielleicht complizirte aber sichere Schlüsse den wahren Vorgang der Hirnvergiftung, die Folgen der Blutdrücke u. s. w. auszumittlen vermöchten. Gelänge es aber nicht den angedeuteten Weg zu betreten, so dürfte man überhaupt die Hoffnung aufzugeben haben, in dieses dunkle Gebiet einzudringen.

Dieses Ziel hat nun auch in der That den bessern Physiologen und unter diesen vor Allen dem unsterblichen E. H. Weber vorgeschwebt; das was sie in dieser Richtung geleistet haben, ist schon zum grössten Theil bei den Sinneswerkzeugen und dem Muskelsinn mitgetheilt worden. Ergänzend ist nur noch folgendes beizufügen.

3. Wenn eine grössere Zahl von Nervenröhren gleichzeitig und zwar bis zu einer solchen Stärke erregt wird, dass die Empfindung die Bildung von deutlichen Vorstellungen über den Ort und die Art der Erregung erlaubt, so können gleichzeitig nicht alle, sondern nur einzelne der erregten Nerven empfunden werden. — Wir haben schon erwähnt, dass sich Fälle ereignen, in welchen keiner der erregten Nerven zur Empfindung kommt, und erwähnt, dass dieselben eintreten, wenn die Erregung zu einer Zeit geschieht, in welcher der Mensch in leidenschaftlichen Zuständen sich befindet, oder mit der Bildung von ergreifenden Gedanken oder der Ausführung von schwierigen Muskelbewegungen beschäftigt ist. Diese allbekannte Thatsache drückt man

gewöhnlich populär so aus, dass die Aufmerksamkeit vermögend sei, sich von den empfindungserzeugenden Einflüssen wegzuwenden. Dieser Ausdruck bedarf jedoch insofern der Vervollkommnung, als sich die Aufmerksamkeit nur dann wegzuwenden vermag, wenn sie sich andern Dingen zuwendet. Denn es gelingt, wie man an sich selbst leicht bestätigen kann, einzig und allein unter den obigen Bedingungen empfindungslos zu werden. Befindet sich aber der Mensch in der That in dem empfindlichen Zustand, so wird aus der grössern Summe der erregten Nerven nur der eine oder andre wirkliches Objekt der Empfindung. Welcher unter den Nerven das Uebergewicht erhält, scheint aber bedingt zu sein, entweder durch die grössere Erregung eines derselben, só dass der thätigere den weniger thätigen aus der Empfindung verdrängt, oder von den jeweiligen geistigen Zuständen, indem je nach Gewohnheit, oder nach den gerade gegenwärtigen Gedankenbildungen einer der Nerven die Oberhand behält, selbst wenn er unter allen der am wenigsten stark erregte ist. — Die Zahl der gleichzeitig, innerhalb sehr beschränkter Grenzen, zur Empfindung kommenden Primitivröhren hängt von dem gerade vorhandenen Hirnzustande ab. Namentlich kann bis zu einem gewissen Grade die Summe der zur Empfindung kommenden beschränkt werden, indem man in der That z. B. aus vielen gleichzeitig das Ohr treffenden Tönen, oder aus vielen in die Retina gelangenden Lichtstrahlen nur einen oder einige zur Empfindung bringen kann. Wie weit diese Vernachlässigung der erregten Nervenröhren im Allgemeinen zu gehen im Stande ist, ist unbekannt; denn wenn es in der Retina auch scheint als ob man vermögend sei, nur ein Rohr, mit Hintenansetzung aller übrigen, zu empfinden, so ist es mindestens zweifelhaft ob für das Ohr etwas ähnliches gelingt. Offenbar beschränkt ist aber das Hirn in der gleichzeitigen Aufnahme von Empfindungen, indem jedesmal wenn wir unsre Aufmerksamkeit zugleich auf zwei Sinne lenken nur die Eindrücke des einen der beiden wirklich empfunden werden; diese Behauptung ist durch scharfe Zeitbestimmungen des sogenannten subjektiven Fehlers derjenigen astronomischen Beobachtung erwiesen, bei welcher man mittelst Zählen der Pendelschläge eines Uhrwerks den Zeitpunkt, in welchem ein Stern vor dem Fadenkreuz des Fernrohrs erscheint, festzustellen sucht. In diesem Falle notirt kein Beobachter, und sei er in dieser einfachen Operation auch noch so geübt, genau die Zeit, in welcher der Stern in der That in das Fadenkreuz tritt, sondern immer eine spätere. — Andre Versuche über diese wichtige Erscheinung fehlen, namentlich ist zu erledigen, mit welchen Umständen die Geschwindigkeit des Uebergangs der Empfindung von einem zum andern Nervenrohr wechselt.

4. Wird eine grosse Zahl von Nerven dagegen bis zu dem Grade der Schmerzerzeugung erregt, so gelangt die Gesammtsumme dersel-

ben zur Empfindung und zwar in der Gestalt, dass mit Vermehrung der erregten Nervenröhren die Intensität der Empfindung steigt. Dieser Satz leitet sich nicht allein aus der bekannten Erfahrung ab, dass eine Lichtquelle deren Strahlen das halbverdeckte Auge gerade noch ertragen kann, sogleich auf das heftigste blendet, wenn man sie mit dem ganz geöffneten Auge ansieht, sondern auf eine noch viel schärfere Art aus den Beobachtungen an den Hautnerven von E. H. Weber. Heisses Wasser erzeugt nämlich um so heftigere Schmerzen in je grösserer Ausdehnung dasselbe die Haut trifft. Diese Summirung der Erregungen der einzelnen Nervenröhren in dem Hirn geschieht aber nicht unter allen Umständen gleich leicht, indem die Ausbreitung der Erregung über benachbarte Hautstellen die Empfindung beträchtlicher steigert, als wenn gleichzeitig weiter von einander entfernte gleichgrosse und gleichnervenreiche Stellen der Einwirkung der heissen Flüssigkeit ausgesetzt sind.

Hier ist nun noch einmal auf viele bei den Sinnen schon abgehandelte Punkte, mit der ausgesprochenen Absicht, sie den experimentirenden Psychologen zu empfehlen, hinzuweisen; wie z. B. auf die Thatsache, dass die Empfindung der Grösse von gesehenen Gegenständen auf einem Quotienten oder einer Differenz beruht, welche gebildet wird aus der Summe gleichzeitig erregter Sehnervenfasern und der Erregungsintensität der Nerven für den Einrichtungsapparat des Auges und den m. rectus internus bulbi; denn es nahm ja die Grösse des geschenen Gegenstandes zu mit der Summe gleichzeitig erregter Opticusröhren und ab mit der Stärke der Erregung der erwähnten Muskeln. — Ferner, dass der Ort und die Richtung des Gesehenen, Gehörten und Gefühlten bedingt war von dem Orte des gleichzeitig erregten Empfindungs- und Muskelnerven. — Ferner, dass die Vorstellung von der Intensität einer beliebigen Empfindung in der Erinnerung rasch absinkt nach dem Aufhören der Nervenerregung, welche sie erweckte, wie aus dem bemerkenswerthen Versuche von E. H. Weber über relative Grössenschätzung hervorgeht u. s. w. — Bevor nicht diese und ähnliche tiefgreifende Erscheinungen genauer zergliedert und durch weitere Versuche ins Klare gesetzt sind, lässt sich an einen theoretischen Fortschritt der Empfindungslehre nicht denken. —

5. Von der Stellung des blinden Flecks, bezüglich der ihn umgebenden Nervenröhren zu der Empfindung. Aus den physiologisch bemerkenswerthen Thatsachen, welche Ad. Fick und der jüngere du Bois-Reymond beobachtet haben, ergibt sich, dass uns eine Vorstellung gegeben ist von dem Abstand der den blinden Fleck umgebenden Grenzen, und ferner, dass wir in der Empfindung den vom blinden Fleck erfüllten Raum der Retina ergänzen, wenn die Umgebungen erregt sind.

Wenn man nach den erwähnten Beobachtern a. das Auge auf einen schwarzen

Streifen in hellem Grunde so einstellt, dass das eine Ende desselben auf den blinden Fleck fällt, so erscheint jener um den Theil seiner Länge, mit welchem er den blinden Fleck trifft, verkürzt; verschiebt man nun aber den Streif, so dass sein Bild beiderseits den blinden Fleck überragt, so verlängert er sich plötzlich, und zwar nicht bloss um den Werth, mit welchem er in die empfindlichen Theile gelangt, sondern auch um den Durchmesser des blinden Flecks. — b. Stellt man das Auge auf einen gradlinig begrenzten dunklen (oder hellen) Streifen auf hellem (oder dunklem) Grund so ein, dass der blinde Fleck noch innerhalb seines Verlaufs in der Retina fällt, mit andern Worten, so dass das Bild des Streifens den blinden Fleck beiderseits überragt, so erscheint er ununterbrochen, unverkürzt, in Form und Farbe unverändert. — c. Stellt man das Auge auf eine dunkle Scheibe auf hellem Grund oder einen wellenförmig begrenzten Streifen so ein, dass der blinde Fleck in die Grenzlinie der Curve fällt, so ersetzt die Vorstellung das ausfallende Curvenstück durch eine gerade Linie, mit andern Worten das vorspringende Curvenstück erscheint abgeschnitten durch die Farbe des Grundes, das eingebogene aber ausgefüllt mit der Farbe welche die Fläche der Curve begränzt. — d. Färbt man ein Kreuz, das aus fünf Quadraten besteht derartig, dass die vier äusseren Quadrate gleichfarbig, das innere fünfte aber andersfarbig wird, und stellt den blinden Fleck auf das mittlere Quadrat ein, so erscheint ein volles Kreuz in der Farbe der äusseren Quadrate.

Willkürliche motorische Erregung.*)

1. Unserem Hirn wohnt das Vermögen bei, eine bestimmte Zahl von Muskel- (und Drüsen?)nerven so zu beherrschen, dass es dieselben aus dem physiologischen Ruhestand in den der Erregung versetzen kann und umgekehrt, dass es die aus andern Gründen (durch Reflexe) erregten Nerven zu beruhigen vermag. Dieses Vermögen zu erregen und bestehende Erregung zu dämpfen, geht der Thatsache des Bewusstseins gemäss, scheinbar von ein und derselben Substanz aus, und was noch merkwürdiger, es scheint die Unterbrechung einer bestehenden Bewegung oder ihre Einleitung von derselben Art der Kräfte abzuhängen; denn der Thatsache des Bewusstseins nach sind wir es, welche ein bis dahin ruhiges Glied bewegen und die in ihm vorhandene Bewegung hemmen, und wir machen hierzu eine und dieselbe Kraftanstrengung. Noch auffallender aber, es kann der Grad der Bewegungsanregung oder Bewegungshemmung nach Belieben bestimmt werden, so dass auf dieselbe äussere Anregung hin, jeder Grad von Muskelcontraktion, oder jede mögliche Geschwindigkeit in der Reihenfolge der Zusammenziehung der einzelnen Muskeln eintreten kann. — So hingestellt scheint das Vermögen ausser den Grenzen aller Analogie mit anderen Naturvorgängen zu liegen; aber gerade diese Entfernung von aller Analogie wird den Physiologen vorerst nur zu der Annahme bestimmen, dass die zur Erläuterung der Erscheinung gegebene Theorie vollkommener Freiheit ebenso mangelhaft ist, als die Darstellung der Erscheinungen selbst; und aus eben diesem

*) J. Müller's Physiologie II. Bd. 63 u. f. — Debrou in Longet Traité de physiologie I. Bd. III. fascic. p. 57.

Grunde wird er es auch verschmähen durch andere, leicht zu findende, zum Theil plausible Unterstellungen, die Annahme zu bekämpfen, welche die Hirnfunktionen ganz unnöthigerweise als ausserhalb der Naturgrenzen stehend ansieht. Die Wissenschaft verschmäht die Scheingefechte.

2. Der Willkürbewegung sind nur eine beschränkte Zahl von Muskeln und Drüsennerven unterworfen und zwar in ganz verschiedener Weise.

a. Unbeschränkt der Willkür unterworfen sind, wie es scheint, die inneren Augenmuskeln, die mimischen Gesichtsmuskeln, die der Zunge, die Strecker und Beuger der Wirbelsäule und des Kopfes, das Zwerchfell (?) und die Muskeln der Arme und Beine. Diese Muskeln können in jeder beliebigen Reihenfolge, in jeglicher gleichzeitiger Verbindung miteinander und zu jeder beliebigen Zeit gehemmt oder bewegt werden.

b. Eine andere Zahl von Muskeln ist nur unter gewisser Combination mit andern der Willkür unterthan, z. B. die Iris nur mit den Accommodationsmuskeln und den inneren und oberen Augenmuskeln; ferner die beiden mm. recti bulbi externi nicht gleichzeitig, wenn die Erregungsstärke einen gewissen Grad übersteigt; ferner der m. hyothyreoideus nur beim Schlingen oder Tonangeben, der tensor tympani beim Kauen, die constrictores pharyngis nur beim Schlingakt; gemeinsam auf beiden Seiten nur die Muskeln des larynx, pharynx, des Gaumensegels und Perinäums.

c. Eine dritte Zahl endlich ist nur in gewissen (sogenannten leidenschaftlichen) Zuständen der Willkür unterworfen. Hierher zählt die Herzhemmung oder Beschleunigung bei Angst oder Spannung, die Durchfälle nach Angst, die Erektion des Penis in dem Geschlechtstrieb, die Thränenabsonderung beim Kummer, die Speichelabsonderung bei Essbegier u. dgl.

Die unter den beiden letzten Buchstaben erwähnten Muskeln und Akte bedürften einer genauen Aussonderung. Hier wäre auch Rücksicht auf die Hirnzustände zu nehmen, in welchen nur einzelne von den unbeschränkt der Willkür unterworfene Bewegungsapparaten dem Willen vollkommen gehorchen, während andre vorübergehend ganz ausgeschlossen sind, wie beim Nachtwandlen, Alpdrücken u. s. w.

3. Niemals können alle der Willkür unterworfenen Muskelnerven gleichzeitig durch dieselbe in Erregung versetzt werden; die Zahl der möglicher Weise gleichzeitig erregbaren Nerven ist jedoch unbekannt; Joh. Müller.

Zuerst scheint die Erfahrung dafür zu sprechen, dass man niemals weniger Nervenröhren gleichzeitig zu erregen im Stande ist, als soviel sich zu einem geschlossenen Muskel begeben, da Niemand, so weit bekannt, nur einzelne Bündel eines solchen isolirt bewegen kann. — Ferner scheint es, dass sich bei den bedingt willkürlichen Bewegungen jedesmal die Anregung über eine grössere Zahl von Nerven

erstrecken müsse, da man niemals das Auge nach innen stellen kann, ohne die Pupillenverengerer in Wirksamkeit zu bringen, niemals, ohne zu speicheln, kaut u. s. w., und niemals in der Freude oder Angst den Veränderungen der Herzbewegungen Einhalt zu thun vermag. — Complizirtere Muskelakte dagegen können nie gleichzeitig von der Willkür in Anregung gebracht werden; wenn man sie in der That gleichzeitig ausführt, indem man z. B. gleichzeitig schreibt und spricht u. dgl., so werden die einzelnen nöthigen Bewegungen dennoch nicht gleichzeitig veranlasst, wie eine genauere Selbstbeobachtung lehrt; diese gibt namentlich Aufschluss, wenn beide oder eine von beiden Bewegungen noch nicht geläufig sind; man erkennt dann deutlich, dass die Anstösse zu den Bewegungen aufeinander folgen, indem die gleichzeitige Ausführung dieser letzten unmöglich ist; man vergisst, um in einem gebräuchlichen Ausdruck zu sprechen, die eine der Bewegungen über die andere. Aus dieser Thatsache darf man schliessen, dass die bei späterer Geläufigkeit der Bewegungen eintretende Gleichzeitigkeit derselben dadurch bedingt ist, dass die erregende Ursache fortlaufend den Erregungsort wechselt und zwar so rasch, dass noch ehe die durch den Anstoss derselben veranlasste Bewegung zur Ruhe gekommen ist, schon wieder ein Anstoss zu einer neuen Bewegung erfolgt. Inwiefern zu dieser Hypothese die Einrichtungen in den Muskeln berechtigen, ist schon früher erwähnt — Jedenfalls scheint man aber zu weit zu gehen, oder besser gesagt Unbewiesenes auszusprechen, wenn man auf diese Thatsache fussend, die Behauptung aufstellt, es könne niemals die Willkür mehr als eine oder wenige Primitivröhren in Erregung setzen; um auch die ebenerwähnten widersprechenden Beobachtungen hiemit in Einklang zu bringen, legt man die Hypothese unter, dass entweder die gleichzeitig erregbaren Röhren in eine einzige verschmelzen, so dass je ein Muskel nur mittelst einer Primitivröhre an der Hirnstelle vertreten sei, an der er die Erregung empfängt; oder man nimmt an, dass in Folge von Querleitungen die Bewegung des einen Muskels eine Mitbewegung von der ursprünglich durch die Willkür erregte eines andern sei. Beide Annahmen sind vollkommen willkürlich. — Sehr bemerkenswerth ist noch die bekannte Erfahrung, dass man durch stetige Uebung es dahin bringt, Nervenröhren isolirt in Anregung zu setzen, die man ursprünglich nur in Verbindung mit andern erregen konnte, und dass man in Zuständen geistiger Trübung (wie in der Trunkenheit) dieses erworbene Isolationsvermögen wieder verliert. So versetzen ungeschickte Menschen und ganz allgemein Kinder, wenn sie eine bestimmte Bewegung beabsichtigen noch viele Muskeln, die zum vorgesetzten Zwecke gar keine Beziehung haben, in den zusammengezogenen Zustand, namentlich verzerren Viele beim Greifen mit dem Arm nach gewissen Richtungen die Gesichtsmuskeln u. s. w.

4. Wie rasch kann der Uebergang der willkürlichen Erregung von einem Nerven zum andern wechseln? Kann man mit grösserer Geschwindigkeit zwei weniger intensive Bewegungen aufeinander folgen lassen, als zwei kräftigere? Sind gewisse Muskelgruppen in rascherer Zeitfolge in Anregung zu setzen als andere? Diese und andere ähnliche Fragen sind oft aufgeworfen, aber noch keinmal durch gründliche Versuche beantwortet.

5. Besondere Schwierigkeiten bietet die Erläuterung der Erscheinung, dass es dem willkürlich erregenden Vermögen, ohne eine Vorstellung von der anatomischen Lagerung der Nervenröhren im Hirn und ihrer zugehörigen Muskeln zu besitzen, gelingt, nach in ihm wohnenden Bestimmungen bald diesen oder jenen im Voraus gewussten Bewegungseffekt einzuleiten. Soweit unsere in diesem Punkt noch unvollkommene Kenntniss zu schliessen erlaubt, geschieht dieses dadurch, dass dem erregenden Prinzip durch Erfahrung allmälig die Zustände oder auch die Richtungen, die die Erregung nehmen muss, bekannt werden, welche zu einer bestimmten Bewegung nothwendig sind. Diese Erfahrungen sammelt aber das Bewusstsein durch die Sinnesnerven; denn jede Bewegung eines Gliedes wird durch die im Gliede selbst oder in einem andern Sinne (Auge oder Ohr) erweckten Empfindungen wahrgenommen, indem nun das besondere Bewegungsbestreben und die jenes Bestreben begleitende Bewegung im Gedächtniss bleiben, gelingt es allmälig die Bewegungen nach Belieben hervorzurufen.

Der Beweis für diese Auffassung liegt darin, dass *a.* der Säugling nur sehr allmälig den Gebrauch seiner Glieder kennen lernt; *b.* dass wenn ein Sinn, der den Menschen einzig und allein über gewisse Bewegungseffekte unterrichtet, ausfällt, diese Bewegungen selbst der Willkür nur sehr mangelhaft unterthan werden, wie z. B. nach Gehörmangel keine reine Stimme im musikalischen Wortsinn sich bildet; *c.* endlich aber weist auf die stetige Mitwirkung der sinnlichen Erfahrung zur willkürlichen Muskelerregung die Thatsache hin, dass wir den Grad der Zusammenziehung irgend welcher Muskeln stetig nach den besondern sinnlichen Eindrücken (oder auch nach Erinnerungen an dieselben) bemessen. So gehen wir im Dunklen auf uns unbekanntem Boden unsicher; wir richten die Muskelkontraktion für einen Steinwurf auf einen gesehenen Gegenstand nach dem Grade der Schärfe unseres Augenmasses ein u. s. w.

6. Die Kraftsumme, welche der muskulöse Apparat des menschlichen Körpers unter dem Einfluss des willkürlich erregenden Prinzips entwickelt, oder zu entwicklen vermag, kann unter günstigen Umständen einen sehr beträchtlichen Werth erreichen. Diese Thatsache gab in früherer Zeit zu der Meinung Veranlassung, dass die erregenden Hirntheile selbst grosse Kräfte entwicklen, indem man glaubte, dass alle die Kräfte, welche von unsern Muskeln zur Bewegung des Skelets oder der an dasselbe angehängten Gewichte, und zur Ueberwindung von allen den Widerständen, die in den Muskeln und in den Skelettheilen der Bewegung entgegentreten, verwendet werden, von

den willkürlich erregenden Hirntheilen geradezu auf die Bewegungswerkzeuge übertragen würden. Es ist diese Annahme so weit die Erfahrungen reichen mit vollkommnem Recht in ihr Gegentheil umgeschlagen. Wir glauben jetzt, auch ohne die von den erregenden Hirntheilen direkt entwickelbaren mechanischen Kräfte gemessen zu haben, behaupten zu dürfen, dass die in jedem kleinsten Zeittheil entwickelten erregenden Kräfte des Willens sehr klein sind. Diese Behauptung ergibt sich augenblicklich, wenn man sich die Art des Aufbaues und Zusammenhangs der Muskeln und Nerven in das Gedächtniss ruft. Muskeln und Nerven waren Gebilde, die auf eine sehr verwickelte Weise zusammengesetzt waren, und zwar aus Stoffen, welche bei ihrer Umsetzung beträchtliche mechanische Kräfte frei machten. Zugleich waren diese Stoffe innerhalb der genannten Gebilde unter solchen Bedingungen enthalten, dass es nur unbedeutender Veranlassungen bedurfte, um die Zersetzungen einzuleiten. Denn wir erfuhren ja, dass Einflüsse von kaum mehr messbaren mechanischen Effekten, die sogenannten Erreger, die Muskel- und Nervenkräfte auslösen konnten. Die Zusammenordnung der Muskeln und Nerven hatte aber in der Art statt, dass sich die Erregbarkeit der Gebilde vom Muskel durch den Nervenstamm bis in das Rückenmark fortwährend steigerte. Denn es wurde durch dasselbe Erregungsmittel ein geringer Effekt erzeugt, wenn es geradezu auf den Muskel, ein grösserer, wenn es durch den Nervenstamm, und ein noch beträchtlicherer, wenn es durch das Rückenmark auf den Muskel wirkte. Auch war noch dazu festgestellt worden, dass nur innerhalb sehr beschränkter Grenzen mit der steigenden Stärke des Erregers die entwickelten Muskelkräfte wuchsen, so dass wenn einmal ein gewisser, meist sehr niederer Grad der Erregerstärke erreicht war, eine weitere Erhöhung derselben keine Steigerung der Muskelkräfte bedingte. Da nun das willkürlich erregende Prinzip die Muskelzusammenziehung von einem sehr geringen bis zu einem beträchtlichen Werth steigern kann, so muss dasselbe wenn es nicht vollkommen sinnlos angelegt ist, sehr geringe motorische Effekte irgend welcher Art (Stösse oder Anziehungen) entwicklen. So gering sie aber auch sein mögen in jedem Augenblick, so beträchtlich muss die Summe der im Verlauf der Zeiten entwickelten Anregungen werden. Zu einer weiteren Definition der Kräfte des willkürlich erregenden Prinzips scheint nur noch hinzugefügt werden zu können, dass ihr Maximalwerth mit gewissen körperlichen Zuständen schwankt.

Die Kraft, die irgend eine willkürliche Muskelbewegung entwickelt, resultirt, wie sich nach dem Vorigen von selbst versteht, aus den ursprünglich in den Nerven und Muskeln gespannten Kräften und verändert sich ausserdem mit der Energie deren die Willenserregung fähig ist. Zum Studium der offenbar in der letzteren eintretenden Schwankungen der Erregungsfähigkeit würde es natürlich nöthig sein, den Antheil der beiden ersteren Apparate an der resultirenden Bewegungskraft bestimmen zu können, was aber noch zur Zeit ganz unmöglich ist. — Jedenfalls sind aber die

Fälle unsere Aufmerksamkeit zu fesseln geeignet, in welchen die Fähigkeit zu Bewegungen sehr abnimmt, obwohl kein Grund zu der Annahme vorliegt, dass die Nerven oder Muskeln eine Schwächung ihrer Kräfte erlitten haben; wir zählen hierher die Ermüdung nach geistigen Anstrengungen, nach einer plötzlichen Gemüthsbewegung, nach dem Genuss von Opium u. s. w. Da in einzelnen dieser Beispiele das erregende Prinzip durch seine Thätigkeit seine Kräfte verzehrt, — wie nach längerem Nachdenken — oder in der Ausübung derselben durch Gegenwart eines chemisch wirksamen Stoffes gehindert wird; da ferner durch eine angemessene Ruhe die Fähigkeit zur Kraftentwicklung wiederkehrt, so liesse sich der Zusammenhang der Erscheinungen so deuten, dass das willkürlich erregende Prinzip von Ernährungs-, resp. chemischen Veränderungen in seinen Kraftentwicklungen, abhängig wäre. Liesse sich diese Vermuthung zur Gewissheit erheben, so würde ein beträchtlicher Schritt zur Erkenntniss des räthselhaften Vermögens geschehen sein.

7. Mit dem Worte Uebung bezeichnet man Beziehungen zwischen dem willkürlich erregenden Prinzip und den Nerven, die denen analog sein mögen, welche man zwischen Empfindung und Nerven mit dem Namen der Gewohnheit belegt. — Durch häufige Einwirkungen der willkürlichen Erregung auf einzelne Bewegungsnerven geschieht es, dass die den letztern zugehörigen Muskelbewegungen eine grössere Kraft gewinnen; da die Erregbarkeit durch öftere Thätigkeit der Muskeln und Nerven derselben wächst, so kann die Erscheinung ungezwungen hiervon abgeleitet werden. — Durch Uebung werden aber auch die Muskeln befähigt mit grösserer Geschwindigkeit in zeitlicher Reihenfolge in Contraktion zu gerathen, und ausserdem wird die Möglichkeit der gleichzeitigen Bewegung verschiedener Muskeln durch Uebung verändert. — In ersterer Beziehung ist es eine tägliche Erfahrung, dass Bewegungen, welche äusserst langsam aufeinander folgten, als sie zuerst unternommen wurden, später, nach häufiger Wiederholung, mit der grössten Geschwindigkeit hintereinander geschehen. Das gleichzeitige Nebeneinander der Bewegungen betreffend, so können durch Uebung sowohl eine Anzahl scheinbar angeborner Combinationen gelöst, als auch neue früher unmögliche eingeführt werden. Beide Vermögen, das der Vereinzelung und das des gleichzeitigen Eintretens haben aber eine wohlgezogene Grenze, über welche hinaus die Uebung nicht mehr wirkt. —

Für das Vermögen der Isolirung und neuen Combination dienen als Beispiele die Erfahrungen, dass man durch Uebung die einzelnen Finger gesondert beugen, ferner dass man gleichzeitig nach zwei verschiedenen Richtungen Arme und Beine rotiren lernt u. s. w. — Ob es gelingt die Sonderung in der Bewegung auch auf einzelne Muskelbündel auszudehnen, oder gar die Accommodations- oder Irisbewegung von der des Bulbus zu sondern, oder aus dem Schlingakt einzelne Muskeln auszuscheiden etc. ist sehr problematisch. Ganz überraschend und unheimlich ist die Erscheinung, dass gewisse Combinationen der Bewegung, wenn sie öfter wiederholt wurden, endlich gegen den Willen geschehen. Die Richtigkeit der Beobachtung steht bei der Schwierigkeit derselben noch in Frage. Denn wer kann wissen, ob nicht ein Zucken der Gesichtsmuskeln, oder gar Krämpfe u. dgl., welche man als Folgen der Angewöhnung ansieht, doch Folgen eines besonderen Hirnleidens sind?

Sitz der Seele.

Die Apparate, welche die Bedingungen der seelischen Leistungen enthalten sollen, werden verschieden gedeutet. Nach der einen Gruppe der Hypothesen, liegt den geistigen Funktionen eine besondere Substanz, die Seele, zu Grunde, welche dem Lichtäther ähnlich, zwischen den wägbaren Massen der Hirnsubstanz schwebt, und mit dieser so verkettet ist, dass ihre Veränderungen mit derjenigen der Hirnsubstanz Hand in Hand gehen, wie das auch der Physiker vom Lichtäther und den ihn umgebenden Stoffen annehmen muss. Damit aber diese Hypothese alle Erscheinungen erläutere, verlangt sie den nicht mehr naturwissenschaftlich zu rechtfertigenden Zusatz, dass der Seelenäther aus innern Gründen (willkürlich) veränderlich sei. — Die Anhänger der zahllosen Abstufungen realistischer Weltanschauung haben sich, insofern sie sich überhaupt zur Bildung einer Vorstellung entschliessen konnten, darüber geeinigt, dass die Seelenerscheinungen resultiren aus einer gewissen Summe im Hirn und Blut enthaltener Bedingungen, weil mit dem Entstehen, der Entwicklung und dem Vergehen des Hirns und mit dem Wechsel in der Blutzusammensetzung Verstand, Empfindung und Wille kommen, schwinden oder sich ändern. Wer den Schluss aus Analogien gelten lässt und durch seine Kenntnisse befähigt ist zu gründlichen Vergleichungen der Seelenerscheinungen mit den übrigen Naturereignissen, wird, wenn er wählen muss, nicht zweifelhaft sein, welcher von beiden Meinungen er beistimmen soll; wer aber einen unumstösslichen Beweis für eine der beiden Anschauungen verlangt, wird eingestehen, dass er noch nicht geliefert sei.

Die Wege, die man versucht, um den Sitz der Seele zu finden, haben bis dahin noch nicht so weit geführt, um die Gründe für die eine oder die andere Alternative zu erbringen. Ueberhaupt scheint man sich aber nur zwei Fragen, insofern dieselben überhaupt hierher gehörig sind, vorgelegt zu haben; namentlich ob die sämmtlichen Seelenerscheinungen von einer und derselben Substanz ausgehen, und welcher Ort des Hirnes es sei, an dessen wohlerhaltenes Bestehen die Seele sich knüpft.

1. Empfindung, willkürliche Erregung der Bewegungsnerven und Gedankenbildung sollen nach gewöhnlicher Annahme von einer und derselben Substanz ausgehen. Zu ihr glaubt man sich berechtigt: a) Weil das Bewusstsein sagt, dass dasselbe einfach die drei besonderen Funktionen erfülle. Diese Thatsache erscheint aber solange nichtssagend, als man nicht ermittelt hat, welche Stellung das Bewusstsein zu den drei Funktionen einnimmt, indem sich denken liesse, dass sie in dasselbe fallen, ohne mit ihm identisch zu sein. Diese letztere

Unterstellung erhält sogar aus den Traumerscheinungen einige Wahrscheinlichkeit, indem hier unsere eigenen Empfindungen und Vorstellungen uns als absolut äussere erscheinen, die wir z. B. fragen. b) Die Identität soll ferner daraus hervorgehen, dass innerhalb gewisser Grenzen die drei Funktionen sich ausschliessen, wie man bekanntlich über eifriges Denken das Bewegen oder Empfinden, oder über eifriges Empfinden das Denken oder Bewegen u. s. w. vergisst. Wie wäre es aber dann zu erläutern, dass beim Sehen von körperlichen Dingen, beim Tasten u. s. w., wobei sich Bewegung und Empfindung combiniren, diese beiden Akte in eine Vorstellung zusammenfliessen? c. Endlich soll der Beweis der Identität durch die Ermüdung geliefert werden, welche im Empfinden oder im Bewegen nach dem emsigen Denken, oder im Denken und Bewegen nach emsigem Empfinden u. s. w. eintritt. Dieser Satz beweisst aber wenig, so lange man nicht den Einwurf beseitigt, dass möglicher Weise die drei Organe aus derselben Quelle ihre Nahrung ziehen u. s. w.

Zudem steht der Hypothese eine ganz unlösbare Schwierigkeit entgegen. Wie wir schon wiederholt bemerkten, liegen nirgends Gründe vor, die uns bestimmen konnten, eine wesentliche Verschiedenheit in den empfindenden und bewegenden Nervenröhren anzunehmen. Und wenn diese nicht besteht, woher soll denn die Verschiedenheit in der Resultirenden der Gegenwirkungen der gleichartigen Nerven und der gleichartigen Seele erläutert werden? — Diese Schwierigkeit mahnt uns daran, wenigstens daran zu denken, dass das, was man Seele nennt, ein sehr complizirtes Gebilde sei, dessen einzelne Theile in einer innigen Wechselbeziehung stehen, vermöge deren die Zustände eines Theils sich dem Ganzen leicht mittheilen.

2. Zu den Bedingungen an deren Vorhandensein sich die Seelenerscheinungen knüpfen, gehört unzweifelhaft das normale Bestehen des grossen Gehirns; denn dorthin laufen alle der Empfindung und Willkürbewegung untergebenen Nervenröhren zusammen; dazu kommt, dass ausgebreitete Verletzungen des grossen Gehirns sogleich die Seelenthätigkeiten in ausgesprochenerer Weise vernichten, als die eines jeden andern nervösen oder irgendwie sonst gebauten Organs. Der besondere Ort des grossen Organs aber, in dem die Seelenerscheinungen vor sich gehen, ist unbekannt. —

Alle Methoden *) zur Ermittelung des Sitzes der Seele, leiden an zwei Grundfehlern. Wenn man, wie es jedesmal geschieht, aus dem Wegfall des einen oder andern Hirntheils und einem entsprechenden Mangel geistiger Leistungen einen Schluss auf den ursächlichen Zusammenhang beider macht, so bleibt zu wünschen übrig: a. Ein sicheres Reagens für die Gegenwart oder Abwesenheit der geistigen Erscheinungen. Schon in der Beurtheilung über die Gegenwart der

*) Longet, Traite de physiologie II. Bd. 2. fasc. p. 35 u. f. — Lebert in Virchow's Archiv III. 524.

Empfindung macht sich das geltend, indem man darüber streitet, ob die Empfindung ihren Sitz in den Grosshirnlappen oder der Brücke habe. Nach Exstirpation der erstern leiten selbst Säugethiere (noch mehr aber Vögel), auf heftige Erregung der Sinnes- und namentlich der Hautnerven, sehr complizirte Muskelbewegungen ein, die viel Aehnlichkeit mit Schmerzensbewegungen zeigen, während nach Exstirpation der Brücke (unter Zurücklassung der Pyramiden, Oliven u. s. w.) diese complizirten Bewegungen (Schreien, Zusammenfahren u. s. w.) wegfallen. Warum ist aber zur Erzielung dieser Bewegungen Empfindung nöthig? warum sind das nicht complizirte Reflexbewegungen? Ebenso unmöglich als sie eben war, wird eine Antwort auf die Frage, ob ein höheres geistiges Vermögen weggefallen sei oder noch bestehe. Wer sieht dem Chloroformirten an, dass er noch auf die sanfteste Art träumt, während seine sonst so empfindlichen Nerven zerschnitten werden. Wer steht uns also dafür, dass sich nicht eine Taube, der man die Grosshirnlappen wegnahm oder der Cretin, dem sie in der Entwickelung verkümmert sind in ganz gleichem Zustande befinde. — b. Sollte aber in der That der Ausfall einiger oder aller geistiger Erscheinungen auch erwiesen sein, so müsste nun erst noch dargethan werden, in welcher besondern mehr oder weniger direkten Beziehung das fehlende und zerstörte Organ und das mangelnde Seelenvermögen zu einander stehen. Sucht man sich hiervon nicht genau Rechenschaft zu geben, so wird man nothwendiger Weise in den Fehler der alten Psychiatrikern zurückfallen, den Sitz der bestimmten Seelenvermögen in Organen zu suchen, die doch nur entfernter Weise und nur unter einzelnen günstigen Umständen die Seele zur Entwickelung derselben stimmen konnten. Der Unterschied zwischen dem Fehler der Aelteren und dem der Neueren wird nur darin liegen, dass die älteren den Sitz ihrer sogenannten Seelenkräfte ausser dem Hirn (z. B. in das Herz, die Leber etc) versetzten, während sie die Neueren in das Hirn an Orte setzen, wohin sie nicht gehören. — Zu diesen allgemeinen Fehlern zeigt nun jede einzelne Verfahrungsart noch besondere.

α. Die vergleichend anatomische Methode geht von dem Prinzip aus, die verschiedenen Thiere, sowohl in Rücksicht auf ihre geistigen Leistungen zu vergleichen, als auch in Rücksicht auf die absolute und relative Grösse ihres Hirns und auf das Vorkommen, die Ausbildung und die besondere Gestaltung einzelner Formen. — Hätte sie in der That auf diesem etwas schwierigen Wege ermitteln wollen, welchen Einfluss die Massen und Formen des Hirns auf die Entwickelung der geistigen Fähigkeit ausüben, so hätte sie begreiflich auch noch angeben müssen, von welchem Einfluss alle anderweitigen Umstände sind, die bei verschiedenen Thieren verschieden sich vorfinden. — Den Versuch hat sie nicht gewagt und wird ihn nicht wagen. Zudem sind nun aber auch die Vergleiche zwischen den geistigen Fähigkeiten ganz werthlos, ohne einen Maasstab für dieselben. Wie mangelhaft hat sie aber erst das einzige was sie ohne zu grosse Schwierigkeit ausführen konnte, die Vergleichung der Hirngewichte, unternommen? Gibt uns eine der vielen Wägungen und Beschreibungen eine Vorstellung von der relativen Grösse einzelner Hirntheile?

β. Die Excisionsmethode gibt vor aus dem Unterschied der geistigen Fähigkeit vor und nach dem Ausschneiden eines Hirntheils auf den Werth dieses Hirntheils für die Entwicklung der geistigen Fähigkeiten schliessen zu können. — Dieses Versprechen würde sie halten, wenn sie ein lebendes Hirn so zerstückeln könnte, dass sie nur die beabsichtigte Verletzung anbrächte. — Da sie aber neben der Entfernung dieses oder jenes Stückes, noch in allen andern den Blutlauf stört, sie abkühlt, erschüttert, unter andere mechanische Spannungen bringt u. s. w., so fehlt jede Entscheidung darüber, ob der Ausfall dieser oder jener Funktion von der Entfernung des Hirnstücks oder von einer der vielen Nebenverletzungen herrührt. —

γ. Die pathologische Beobachtung. Die Beobachtung solcher Menschen, die an mehr oder weniger ausgedehnten, angebornen oder erworbenen Verstümmlungen des Hirns, ohne Beeinträchtigung des Lebens, leiden, liefert endlich ebenfalls ein

Merkmal, aus dem man auf die Betheiligung einzelner Hirntheile an den geistigen Fähigkeiten Schlüsse zieht. Diese Beobachtungen gewähren, wie es scheint, häufig den Vortheil ganz isolirte Hirnzerstörungen in ihren Wirkungen bemessen zu können; die Wirkungen aber selbst sind theils augenfälliger, theils schärfer festzustellen, weil sie sich an geistig hochstehenden, deutlich selbst bewussten Organismen äussern, die noch dazu meist längere Zeit hindurch der Beobachtung unterworfen sind. Und dennoch sind die auf diesem Wege gewonnenen Resultate einander so widersprechend. Rührt das von mangelhafter Beobachtung oder davon, dass die bisherigen Schlussfolgerungen vollkommen fehlerhaft waren?

So mühelos hier eine treffende Kritik ist, so schwer wird es sein durch Anbahnung treffender Mittel und Wege den Zustand dieses Theils der Wissenschaft zu verbessern.

Die Resultate, welche die erwähnten Methoden geschaffen haben, sollen noch erwähnt werden, weil dieses dazu beitragen wird, ihre Mängel noch eindringlicher zu machen.

Grosshirnlappen. Alle drei Methoden häufen scheinbar Wahrscheinlichkeiten dafür, dass Seelenthätigkeiten und namentlich die höheren in Beziehung stehen zur Ausbildung der Grosshirnlappen. Denn mangelhafte Entwicklungen, Verkümmerung in seiner Ernährung, Ausschneiden derselben bei Tauben, sind häufig mit einem Stumpfsinn begleitet. — Aber diesen zahlreichen Thatsachen stehen andere entgegen, indem grosse Massen der Grosshirnlappen bei Menschen durch angeborne Eigenthümlichkeit fehlten, oder auch durch Verwundungen, Blutaustritte, fremde Geschwülste u. s. w., zerstört wurden, ohne dass auch nur die geringste Abweichung von den normalen geistigen Funktionen eingetreten wäre; wenn eine nothwendige Verknüpfung zwischen Seele und den Grosshirnlappen bestünde, so wäre das letzte Resultat unmöglich, denn es ist begreiflich eine ganz vage Redensart, wenn man behauptet, dass die nach Verletzungen zurückgebliebenen Stücke die Funktionen der entfernten übernommen hätten. — Der Widerspruch könnte sich nur dann lösen, wenn etwa nur einzelne Regionen des Grosshirnlappen mit dem Seelenvermögen in Verbindung stünden; man hat dieses in der That behauptet, indem eine Zahl von Autoren vorzugsweise die vordern, eine andere aber vorzugsweise die hintern Lappen als die Träger der Seele ansahen. Der Widerspruch in den Meinungen rührt daher, dass die einen nur Geistesstörung mit Vernichtung der vordern, nicht aber mit Vernichtung der hintern Lappen sahen, während andere gerade die umgekehrten Fälle beobachteten; dieser Widerspruch in den Beobachtungen genügt zur Widerlegung der einen oder andern Hypothese.

Grosshirncommissuren, insbesondere der Balken. Nach Zerstörungen und Verletzungen derselben und namentlich der unteren Commissuren tritt gewöhnlich rasch der Tod ein; öfter aber überleben die Kranken lange die Folgen namentlich von Balkenverletzungen; es sind auch Fälle beobachtet worden, in welchen ein angeborner Mangel des Balkens vorhanden war. Viele der sogenannten Seelenthätigkeiten, namentlich das Selbstbewusstsein, die Empfindung und willkürliche Bewegung, waren nicht gestört, häufig aber die Denkfähigkeit; und auch diese nicht immer. Dazu kommt, dass dieses Vermögen oft beeinträchtigt ist ohne jegliche Kränkung der Commissuren.

Kleines Gehirn. Wegen der Seltenheit des gleichzeitigen Vorkommens von Geistesstörung und Kleinhirnleiden, hat man nur sehr vereinzelt die Hypothese gewagt, das kleine Hirn als ausschliesslichen Sitz der geistigen und namentlich der höhern geistigen Vermögen anzusehen; man hat dagegen nach dem Ergebniss von Vivisektionen, und pathologischen Beobachtungen sich für berechtigt gehalten anzunehmen, dass hier der Sitz der Empfindung, des willkührlichen Verbindungsvermögen der Muskelnerven zu geordneten Bewegungen (des Gehens u. s. w.) und der niederen

geschlechtlichen Leidenschaften zu suchen sei. Alle diese Hypothesen sind widerlegt durch sehr zahlreiche Fälle von Verletzungen und durch einen sehr bemerkenswerthen Mangel des kleinen Gehirns, in welchem alle die dem kleinen Gehirn zugeschriebenen Funktionen ungehindert von Statten gingen

Brücke. Vögel, namentlich Tauben überleben die Ausschneidung der Grosshirnhemisphäre längere Zeit; sie erweisen sich dann noch wie es scheint empfindlich, indem sie nach heftigem Geräusche zusammenfahren, nach Lichteindrücken noch das Auge schliessen u. s. w. Nicht minder beobachtet man bei Kaninchen nach Exstirpation des ganzen Gehirns bis auf die Brücke und verlängertes Mark noch heftige Angstschreie, wenn man ihnen den n. trigeminus kneift. Diese Thatsachen benutzt Longet, um zu behaupten, dass die Brücke das Empfindungsvermögen bewirke. Diese Behauptung würde, wenn sie erweisbar wäre, von ausserordentlichem Interesse sein, indem man daraus, und wohl mit Recht, einen Schluss auf die zusammengesetzte Natur der Seele machen könnte. — Aber die Erfahrungen am Menschen widerlegen Longet vollkommen; denn wie oft wird durch Blutextravasate (Schlagflüsse), die in das Dach der Seitenventrikel geschehen, die Empfindlichkeit einzelner Glieder gelähmt, obwohl die gelähmten Nerven von den Gliedern aufwärts noch in vollkommener Verbindung mit der unverletzten Brücke stehen.

So wenig Sicheres diese Thatsachen geben, das steht fest, dass keins der Organe, die wir erwähnt, so ohne Weiteres die Seelenfunktion entwickelt, wie etwa ein Muskel zwei Knochen gegeneinander bewegt u. s. w. —

Schlaf. Traum *).

1. Die wesentlichsten der vielfachen und ihrem inneren Zusammenhang nach wahrscheinlich sehr verschiedenen Erscheinungen, welche man mit dem Namen des Schlafs belegt, dürften sich folgendermassen zusammenfassen lassen:

a. Die gegenseitigen Beziehungen zwischen den Sinnesnerven und der Seele sind vorübergehend gelöst, während die Seele ihre Fähigkeit zur Gedankenbildung und die Möglichkeit ihrer Einwirkung auf alle oder einzelne Muskel bewahrt hat. Zu dieser Art des Schlafs gehört das sogenannte Nachtwandlen, das Sprechen im Schlaf u. s. w. In vielen dieser Fällen scheint jedoch auch die Funktion der Gedankenbildung bis zu einem gewissen Grade beeinträchtigt; ob in allen Fällen, ist sehr zweifelhaft.

b. Die gegenseitigen Beziehungen zwischen der Seele und den Muskelnerven sind gelöst, es besteht dagegen noch die Fähigkeit zur Gedankenbildung und die Einwirkung der Sinnesnerven auf die Seele. Diese sehr häufige Form des Traums erreicht im sogenannten Alp ihren ausgebildetsten Typus, in welchem man sehr lebhaft von unangenehmen Empfindungen bedrückt wird, ohne die Fähigkeit zu besitzen, Bewegungen, die man selbst für hilfreich hält, ausführen zu können. Die bestehenden Erregungen, wie der Druck eines Kleidungsstückes oder ein Ton u. dgl., werden auf den richtigen Ort der Erregung (die gedrückte Stelle), in einer dem Erregungszustand des Nerven (als ein bestimmter Ton, eine angenehme oder unangenehme

*) Purkinje; Wagners Handwörterbuch III. Bd. 2. Abthl.

Hautempfindung etc.) entsprechenden Weise empfinden, sie geben aber gewöhnlich zu andern Gedankencombinationen Veranlassung und werden namentlich von dem Verstande andern Ursachen als während des Wachens zugeschrieben.

c. Die gegenseitigen Beziehungen zwischen der Seele einerseits und den Muskel- und Sinnesnerven andrerseits sind gelöst, es bleibt dagegen noch das Vermögen der Gedankenbildung erhalten. Der Grund, aus welchem die Nerven den seelischen Einflüssen entzogen sind, darf nicht in einer Abschwächung oder gar einer Vernichtung der Erregbarkeit der Nerven gesucht werden, weil es sehr leicht gelingt, durch Einwirkungen der bekannten Erregungsmittel auf die Sinnesnerven die entsprechenden Reflexe zu erzielen; Lichteindrücke auf die Retina bedingen Iriscontraktionen, sanftes Bestreichen der Handfläche oder Achselhöhle u. s. w., lösen Muskelbewegung der Hand oder des Oberarms aus u. s. f. — Nach fast allgemein übereinstimmenden Angaben sind in diesem Zustande aber auch die höheren Seelenerscheinungen, (die Bildung der Gedanken und Vorstellungen) wesentlich abweichend in ihrer Erscheinung von dem des Wachens. Denn 1. die Vorstellungen sinnlicher Gegenstände erhalten den Charakter der Empfindung (Phantasmata), d. h. man glaubt die Gegenstände und Personen, welche man sich im Traume vorstellt, zu sehen, zu hören, zu fühlen und zu schmecken. Sehr bemerkenswerth ist es, dass Blinde, vorausgesetzt, dass sie sich während der ersten Jahre ihrer Lebzeit des Augenlichtes erfreuten, nur im Traume die Täuschung sehen zu können geniessen. 2. Das Bewusstsein, dass die Gedanken und Vorstellungen von uns ausgehen, ist zum Theil verschwunden; wir legen bekanntlich unsere eignen Gedanken den gesehenen Phantasmen unter, und sind oft überrascht sehr geistreiche und scheinbar völlig fremde oder wenigstens fernliegende Bemerkungen aus dem Munde der Phantasmen zu hören. 3. Den Schlüssen, welche wir bilden, fehlt die Logik, obwohl wir das Bedürfniss zur Bildung von Urtheilen besitzen. 4. Die Gedanken treten meist in sehr raschem Wechsel auf, können nicht willkürlich festgehalten, noch weniger auf einen bestimmten Punkt gerichtet werden, und entschwinden sehr leicht dem Gedächtniss.

d. Endlich soll es Zustände vollkommener Loslösung der Seele von Bewegungs- und Empfindungsnerven und gleichzeitigen vollkommenen Stillstandes in der Gedankenbildung geben. Diese Behauptung wird von allen Psychologen sehr eifrig bestritten, welche die Seele als ein absolut einfaches Wesen ansehen, welches die Bedingungen seiner Thätigkeit in sich selbst trägt. Die Controverse lässt sich leider nicht erledigen, da wenn wir uns auch häufig keiner Träume aus einem tiefen Schlafe erinnern, damit die Gegenwart von Träumen nicht widerlegt ist, die keine Erinnerung zurückliessen.

2. Von den nächsten Bedingungen zum Eintritte des Schlafes, d. h. von den Hirnzuständen, die unmittelbar den Schlaf darstellen, ist uns nichts bekannt; kaum dass wir einige Veranlassungen zum Schlaf kennen. Zu diesen zählen wir a. Anstrengungen der willkürlichen Erregung, der Empfindung und des Denkens. b. Monotone Erregungen oder Abwesenheit der Erregungen des Nerven und des Denkvermögens, z. B. ruhige ausgestreckte Lage im Halbdunkel, Lesen in gleichgültigen Büchern etc. c. Gewisse chemische Veränderung des Bluts, z. B. Anhäufung von CO_2, oder Gegenwart von Aether, Opium u. s. w. im Blute. — Noch weniger sind uns die Bedingungen bekannt, die den Uebergang der vorhin aufgezählten Formen des Schlafes ineinander, der leicht und häufig vorkommt, bewirken.

3. Die Einflüsse, welche den Schlaf in das Wachen zurückführen, sind zuerst die entgegengesetzten der eben angeführten, wie z. B. lebhafte Vorstellung, kräftige Sinneseinwirkungen. Ausser diesen wirkt aber auch erweckend, die Dauer des Schlafes selbst, indem wahrscheinlich die vom Blute aus eingeleiteten chemischen Veränderungen die Bedingungen zum Schlaf aufheben; ferner verhindern den Eintritt des Schlafes eine Anzahl chemischer Körper, wenn sie in das Blut eingetreten sind, wie z. B. Caffee.

4. Die schon aufgezählten wesentlichen Erscheinungen des Schlafes werden meist, oder können wenigstens begleitet werden von besondern Symptomen in Abtheilungen des Nervensystems, die in entfernten Beziehungen zur Seele stehen. Dahin gehört eine Verlangsamung der Athemzüge, des Herzschlags, der Darmbewegung, der Speichel- und Thränenabsonderung. Ob nun dies Zurücktreten der physiologischen Funktion dieser nervösen Gebilde von ähnlichen Bedingungen abhängt, als die Ruhe der seelischen Gebilde, oder ob diese Erscheinungsreihen nur eine Folge des Schlafes der nächsten Umgebungen der Seele sind, bleibt dahingestellt. Das Letztere ist nicht unwahrscheinlich, wenn man bedenkt, dass die Nerven im Schlaf ihre Fähigkeit zu reflektorischen Bewegungen, also auch ihre Erregbarkeit, nicht einbüssen.

Aus diesen Nervenwirkungen, den wesentlichen sowohl als accessorischen, fliessen nun weiterhin viele Folgen für den schlafenden Organismus, die in einem vollkommenen Bild des Schlafes noch aufgenommen werden müssten, wie Veränderung in dem Respirationsprocess, der thierischen Wärmebildung, der Ernährung einzelner Gewebe u. s. w. Die Veränderungen dieser Prozesse sind um so wichtiger, als mit Wahrscheinlichkeit gerade hierdurch die wohlthätigen kräftigenden Wirkungen des Schlafes herbeigeführt werden. Sie können aber erst unter den Abschnitten: Kreislauf des Blutes, Respiration, Muskelernährung, thierische Wärme u. s. w. behandelt werden.

INHALT.

Seite

Einleitung 1

Erster Abschnitt.

Physiologie der Atome 15

Zweiter Abschnitt.

Physiologie der Aggregatzustände 51

Dritter Abschnitt.

Physiologie des Nervensystems 71
I. Allgemeine Nervenphysiologie 71
A. Physiologie der Nervenröhren 71
B. Ganglienkörper 124
II. Besondere Nervenphysiologie 126
A. Rückenmark und Rückenmarksnerven 126
B. Hirn und Hirnnerven 154
C. Sympathischer Nerv 175
D. Gesichtssinn 185
E. Gehör 263
F. Geruchssinn 287
G. Geschmackssinn 292
H. Gefühlssinn 297

Vierter Abschnitt.

Physiologie des Muskelsystems 312
I. Allgemeine Muskelphysiologie 312
A. Physiologie der quergestreiften Muskelröhre 312
B. Physiologie der muskulösen Faserzelle 349

Seite

II. Besondere Muskelphysiologie 353
A. Verknüpfung der Muskeln mit den Nerven 353
B. Das Skelet mit seinen Muskeln 362
C. Stimm- und Sprachwerkzeuge 413
Stimme 413
Sprache 434

Fünfter Abschnitt.

Physiologie der Seelenorgane 440
Organe der Empfindung 440
Willkürliche motorische Erregung 446
Sitz der Seele 452
Schlaf. Traum 456

WELLCOME LIBRARY INSTITUTE

LAURENTIAN UNIVERSITY
LIBRARY

IV